



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Risto Lang

**VEDU VEEHOIDLA VEE KASUTAMISVÕIMALUSED
TEHISLUME TOOTMISEKS**

POSSIBILITIES OF USE OF WATER OF THE VEDU
RESERVOIR FOR ARTIFICIAL SNOW PRODUCTION

Magistritöö
Vesiehitus ja veekaitse õppekava

Juhendaja: Priit Tamm, MSc

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Risto Lang		Õppekava: Vesiehitus ja veekaitse (383)	
Pealkiri: Vedu veehoidla vee kasutamisevõimalused tehislume tootmiseks			
Lehekülgi: 75	Jooniseid: 25	Tabeleid: 12	Lisasid: 3
Osakond: Veemajanduse osakond			
Uurimisvaldkond: Vesiehitised ja veevarustus			
Juhendaja: Priit Tamm, MSc			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018			
<p>Töös käsitletakse uuringuid Vedu veehoidla kohta ja võimalust rajada tehislumesüsteem Vedu terviserajale. Vedu terviserada on talvel võimaluse korral Lähte terviserajaga ühendatud, Lähel on võimalik tehislund toota, kuid Vedu terviserajal puudub see võimalus hetkel täielikult.</p> <p>Töö eesmärgiks on uurida Vedu veehoidla seisukorda ja vee kasutusvõimalust tehislume tootmiseks ning projekteerida Vedu terviserajale statsionaarse torustikuga tehislumesüsteem veehaardega veehoidlast, võimaluse korral kasutades võimalikult palju olemasolevaid seadmeid.</p> <p>Töö käigus on teostatud uuring veehoidla kohta, võrreldakse kahte peamist tehislume tootmiseseadet ja pakutakse välja lahendus, arvestades olukorda. Käsitletakse projekteeritavat veehaaret vastavalt oludele. Rõhku pannakse sellele, et lund saaks toota hajutatult ja pakutakse välja lahendus, kus seadmetele on mitu vee väljavõtuk kohta.</p> <p>Antud töö on pigem teoreetiline ja keskendutakse rohkem uurimistele ja projekteerimisele.</p>			
Märksõnad: Tehislumesüsteem, veehoidla, torukahur, veehaare, terviserada			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Risto Lang		Speciality: Hydraulic Engineering and Water Pollution Control (383)	
Title: Possibilities of use of water of the Vedu reservoir for artificial snow production			
Pages: 75	Figures: 25	Tables: 12	Appendixes: 3
Department:	Department of Water management		
Field of research:	Hydraulic structure and water supply		
Supervisors:	Priit Tamm, MSc		
Place and date:	Tartu, 2018		
<p>This thesis deals with the studies about Vedu reservoir and the possibility of designing an artificial snow system for Vedu health trail. In winter Vedu health trail is connected with the Lähthe health trail if possible. Artificial snow can be produced at Lähthe, but there is currently no possibility to produce artificial snow at the Vedu health trail.</p> <p>The purpose of the work is to study the condition of the reservoir and possibilities of use of water to design an artificial snow system with a stationary pipeline with a water intake from the reservoir, if possible then using as many existing equipment as possible.</p> <p>During the work, a study of the reservoir has been performed. Also comparing the two main artificial snow producing equipment and proposing a solution considering the situation. The designed water intake will be dealt with according to the circumstances. Emphasis is placed on the ability to produce snow dispersed and a solution is proposed where the equipment has several water outlets.</p> <p>The work is more theoretical and focuses more on research and design.</p>			
Keywords: Artificial snow system, reservoir, snow lance/tower, water intake, health track			

SISUKORD

Sissejuhatus	6
1. VEDU VEEHOIDLA.....	8
1.1. Vedu veehoidla ülevaade.....	8
1.2. Veehoidla uuring	14
1.3. Veehoidla veetase.....	21
2. LUMI JA LUMIKATE EESTIS	25
2.1. Mõisted ja vaatlusandmed	25
2.2. Tehislume ja loodusliku lume erinevus	27
3. TEHISLUMESÜSTEEM	30
3.1. Tehislume tootmine	30
3.2. Torukahur	31
3.3. Turbiinkahur	33
3.4. Võrdlus	34
3.5. Hüdrandid	34
3.6. Tehislumesüsteemi torumaterjalid.....	36
4. VEDU TERVISERAJA TEHISLUMESÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE	37
4.1. Vedu terviseraja ülevaade.....	37
4.2. Veevajadus	39
4.3. Vedu terviseraja tehislumesüsteemi seadmete valik	40
4.4. Tehislumesüsteemi veehaare ja veevõrk	41
4.5. Veevõrgu hüdrauliline arvutus	42
4.6. Pumbad.....	44
5. VEDU VEEHOIDLA VEEBILANSS	47
5.1. Veehoidla veebilansi arvutus.....	47
Kokkuvõte	53
Kasutatud kirjandus.....	56
LISAD	58
Lisa 1. Uuringupunktide mõõtmistulemuste tabel	59
Lisa 2. Sukelpumba ja survetõstepumba parameetrid	60
Lisa 2.1. Sukelpumba parameetrid	60
Lisa 2.2. Survetõstepumba parameetrid	64
Lisa 2.3. Olemasoleva survetõstepumba parameetrid	69

Lisa 3. Vajalikud materjalid	74
------------------------------------	----

Kaust II:

Graafilised lisad:

Joonis 1. Koondplaan

Joonis 2. Vedu veehoidla asendiplaan

Joonis 3. Vedu terviseraja asendiplaan

Joonis 4. Torustiku pikiprofiil kõrgeimasse punkti

Joonis 5. Vedu veehoidla pikiprofiil A-H

Joonis 6. Ristprofiil nr. 1

Joonis 7. Ristprofiil nr. 2

Joonis 8. Ristprofiil nr. 3

Joonis 9. Ristprofiil nr. 4

Joonis 10. Ristprofiil nr. 5

Joonis 11. Ristprofiil nr. 6

Joonis 12. Ristprofiil nr. 7

Joonis 13. Ristprofiil nr. 8

Joonis 14. Ristprofiil nr. 9

Sissejuhatus

Talved on Eestis ettearvamatud, mõni aasta on lund, mõni aasta pole peaaegu üldse, sellega kannatab ka talispordi hooaeg. Suusatamine on Eesti rahvusport ning tänapäeval stressi maandamiseks minnakse järjest rohkem üle tervislikule eluviisile, tehes sporti. Suusatamise spordiala suurimaks ohuks on just need talved, kui lumikate on minimaalne või üldse olematu. Eesti ilmad talveperioodil on piisavalt külmad, kuid paraku viimased aastad on näidanud, et külmadega ei pruugi kaasneda lund. Kui loodus ei luba meile lund, siis tänapäeva tehnoloogia kiire arengu tulemusel suudame sobivate tingimuste juures lund ise toota.

Eestis on nõukogude ajal rajatud väga palju veehoidlaid, mis on enamasti mõeldud vihmutuse jaoks. Paljud veehoidlad seisavad tänaseks kasutult, sest vihmatussüsteemid on oma töö lõpetanud ja lagunenud. Osad veehoidlad on võetud kasutusele supluskohana, näiteks Rahingel on lahendatud olukord selliselt, et sinna on rajatud wakepark. Paisjärved on kallid vesiehitised ja kasutult seisvatele paisjärvedele tuleks leida uus funktsioon. Vedul asub veehoidla, mis seisab hetkel kasutult, kuna seal lähedal asub terviserada ja talve perioodil on seal suurepärane suusatamise võimalus, omakorda asub metsas ja hoiaks lund hästi, siis saaks veehoidlat ära kasutada tehislumesüsteemi rajamisega. Lähte suusaradadel on korralik tehislumesüsteem ja kuna see asub Tartust 14 km kaugusel, siis see on üle koormatud, eriti nädalavahetustel. Loodusliku lume olemasolul on Lähte ja Vedu suusarajad ühendatud, radasid hooldab üks ja sama radade hooldaja, kuid lume vaestel aastatel Vedu radadele ei pääse ja tehislume tootmise võimalus puudub.

Töö eesmärk on uurida Vedu veehoidla olukorda ja veehoidla vee kasutamisevõimalusi ning projekteerida Vedu terviserajale tehislumesüsteem.

Töös antakse ülevaade käsitlevatest objektidest: Vedu terviserajast ja veehoidlast, kust plaanitakse tehislume jaoks vett võtta. Magistritöös on uuritud veehoidlat ja tehtud sellega seotud ehitiste ülevaatus, kirjeldatakse uurimisel kasutatud seadmeid/abivahendeid ja töö käiku. Veehoidla Uuringu käigus võeti proove veehoidla põhjamaterjalist, jälgiti veehoidla

veetasemete muutumist. Töös on tehtud veehoidla veebilansi arvutus, antakse hinnang sellest vee võtmise võimalusele tehislume tootmiseks ja veehoidla üldisest seisundist.

Töös analüüsitakse vaatlusandmete põhjal Tartumaal lumikatte paksust aastate jooksul ja võrreldakse loodusliku lund tehislumega ning selle tingimusi tootmiseks.

Käesolevas töös koostatakse aluskaardid ja projekteeritakse Vedu terviseraja tehislumesüsteem. Töös arvestatakse olemasolevate turbiinkahuritega, mida oleks võimalik kasutada, lisaks võrreldakse turbiinkahureid torukahuritega. Tuuakse välja erinevate ettevõtete poolt pakutavad torukahurid, esitatakse sobivaim lahendus Vedu terviserajale tehislumikatte tegemiseks.

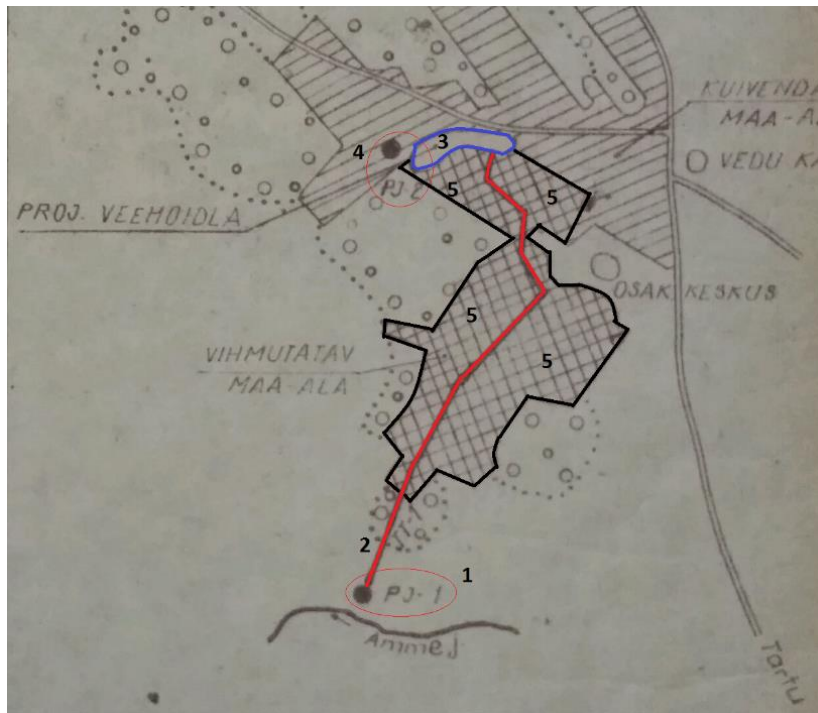
Torustiku projekteerimisel lähtutakse looduslikest oludest, kust on kõige soodsam torustiku paigaldada, võttes arvesse, et ei peaks kahjustama ja eemaldama olemasolevat taimestiku ning objekti lähedal paiknevat maagaasi trassi - välditakse torustike ristumist. Töös arvutatakse välja vajaminev lumekogus, teades suusaraja pikkust, laiust ja lumikatte vajadust. Vajaminevast lumekogusest arvutatakse välja vajamineva vee kogus. Arvestades valitud seadmete tehnilisi andmeid, projekteeritakse veetorustik ja pakutakse välja lahendus, kus lumetootmiseseadmetele on mitmeid veeväljavõtu kohti, et toota lund võimalikult hajutatult. Lume transport antud töös välistatakse, kuna see oleks pikas perspektiivis palju kulukam. Töös kasutatakse kaheastmelist pumpamist, vastavalt tõstekõrgustele ja vooluhulgale valitakse sobivaimad pumbad.

Autor avaldab tänu suurepärase juhendamise eest Priit Tamme. Praktiliste kogemuste jagamise eest tehislumesüsteemi kasutamisel avaldab autor tänu ka Lähte ja Vedu terviseraja rajameister Jaanus Robile.

Vedu veehoidla veekogu tüübiks on paisjärv ja kuulub Ida-Eesti vesikonda – Peipsi alamvesikonda. Veehoidla koosneb kahest osast, mis on omavahel ühenduses. Keskkonnaregistri andmetel on Vedu veehoidla veepeegli kogu pindala 6,8 ha. Veehoidla maht on 230 000 m³, kui veetase on paisutatud ette nähtud kõrgusele, milleks on abs. kõrgus 74,00 meetrit (BK77 süsteemis). Keskmine sügavus veehoidlas on 2,3 meetrit, suurim sügavus 6 meetrit ja kaldajoone pikkuseks 1,8 kilomeetrit.

Vedu veehoidla ja vihmatusüsteemi projekt koostati 1974. aastal Tartus. Projekti kaasautoriteks olid grupijuht H. Kull ja H. Siska. Veehoidla projekt koostati hüdrotehniliste ehitiste osakonnas. Hüdroloogilised ja veemajanduslikud arvutused tehti RPUI „Eesti maaparandusprojekt“ tehnoloogiliste uurimiste osakonnas. Veehoidla ja vihmatusüsteemi projekti jaoks topograafilised ja hüdrotehnilised uuringud tegi vaneminsener V. Teder, mullastiku- ja kultuurtehnilised uurimised grupijuht H. Siska 1973. aasta juuni – septembri kuul. Veehoidla valmimise tähtaja kohta täpsed andmed puuduvad. Valmimise aeg jäi aastavahemiku 1974-1976. Maaameti ajalooliste kaartide põhjal oli veehoidla 1977. aasta kaartidel märgitud, kuid kaardid aastate 1974-1976 kohta puudusid.

Vedu veehoidla projekteeriti vihmatusvõrgu vajamineva vee jaoks, vaata joonis 1.2 ja kaust II joonis 1. Vedu veehoidla on Eestisse rajatud vihmatusveehoidlate hulgas ebatavalise täitmisviisiga. Projektlahendus nägi ette veehoidla täitmise Amme jõest. Amme jõe ääres asuvast pumbajaamast (PJ-1) pumbati vesi vedu veehoidla väiksemasse osasse (Väike-Vedu veehoidla). Kahe veehoidla osa vahel oleva ühendustorustiku kaudu liikus vesi Vedu veehoidla suuremasse osasse. Vee võtmiseks veehoidlast on rajatud veehaare. Veehaardest liikus vesi torustiku kaudu vihmatuspumbajaama (PJ-2) ja sealt edasi vihmatusüsteemi. Vihmatusvõrk oli mõeldud kolhoosi karjamaadele niisutamiseks.



Joonis 1.2. Vedu vihmutussüsteemi skeem kus: 1- täititorustiku pumbajaam PJ-1, 2- veehoidla täititorustik, 3- Vedu veehoidla, 4- vihmutussüsteemi pumbajaam PJ-2 ja alajaam, 5- vihmutatav ala.

Allikas: kolh. "Avangard" Vedu II mp. II ehitusjärg 1.k Vihmutusvõrk, 1974

Pumbajaama veehaare asus Amme jõest kaevatud eelbasseini kaldal, sellist veehaaret nimetatakse nn. koppveehaardeks.

Koppveehaaret kasutatakse, et kaitsta lobjaka ummistumise eest ja vältida uhtainete sattumist sõelte. Kuna niisuguses eelbasseinis on vee sügavus suurem ja voolukiirus tunduvalt väiksem kui looduslikus jões, siis settivad uhtained põhja, jäälobjakas aga ujub veepinnale ja külmub jääkatteks, mis kaitseb basseinis olevat vett ülejahtumise eest (L. Paal, H. Mölder, H. Tibar. 1981).

Pumbajaam oli projekteeritud kahe pumbaga jõudlusega $Q = 140 \text{ l/s}$, $N = 150 \text{ kw}$, maksimaalse survega 80 m. Amme jõest Vedu veehoidlasse on rajatud torustik, mille kogu pikkuseks on umbes 1,5 kilomeetrit (vaata joonist 1.2 ja kaust II joonis 1), Projekti järgi ehitati torustik 4 meetri pikkustest 400 mm läbimõõduga malmist muhvtorudest (kolh. "Avangard" Vedu II mp. II ehitusjärg 2.k Veehoidla ja pumplad, 1974).

Projekti järgi oli ettenähtud vett pumbata veehoidlasse Amme jõe kevadiste ja sügiseste suurvete ajal, kuid võimaluse korral on võimalik seda teha ka talvel. Kuna talvel ja varakevadel on maa veel külm, siis avariide vältimiseks projekteeriti täitmistorustik 1,6 meetri sügavusele,

külmumispiirist alla poole. Kuna amme jõe vooluhulk on suvekuudel väike, siis on keelatud Amme jõest võtta vett juuni – septembri kuul, kokku 4 kuud.

Amme jõe ääres olev pumbajaam on ümber ehitatud elamuks. Ehitistest on alles Amme jõest pumplani kaevatud veehaarde eelbassein. Veehaardest on alles kaevud, mille peale on ehitatud terrass, vaata joonis 1.3.



Joonis 1.3. Vaade endisele veehaardele ja pumbajaamale PJ-1.

Vedu veehoidlaga seotud ehitiste ülevaatus käigus jäi selgusetuks, mis on saanud täitetorustikust. Põllumajandusameti arhiivis olnud projektdokumentatsioon ei sisaldanud torustiku asendiplaane. Säilinud oli skeem (vaata joonis 1.2) ja pikiprofiil. Ilma asendiplaanideta polnud võimalik saada teada täpsemalt torustiku asukohta, ega otsida torustiku hoolduskaeve. Veehoidlasse suubunud toru ots jäi samuti leidmata. On vähetõenäoline, et täitetorustik on välja kaevatud 1,6 m sügavuselt.

Veehoidla projekt on ette näinud kaks varianti, kui paisutustase jääb 74,00 meetri juurde ja veemahu suurendamiseks on veehoidla projekteeritud nii, et vajaduse korral saaks veetaset paisutada maksimaalselt 77,00 meetrini, mis saavutatakse piirdetammide tõstmisega, sellisel juhul oleks Vedu veehoidla perspektiivne maht olnud 530 000 m³. Projekt on realiseeritud variandi järgi, kus nähti ette veetaset hoida abs. kõrgusel 74,00 meetrit.

Veehoidla põhjakaldale on kujundatud ujumiskoht koos päästevarustusega, mida esialgses projektis polnud ette nähtud. Ujumiseks ette nähtud koht on välja toodud kaust II joonisel 2.

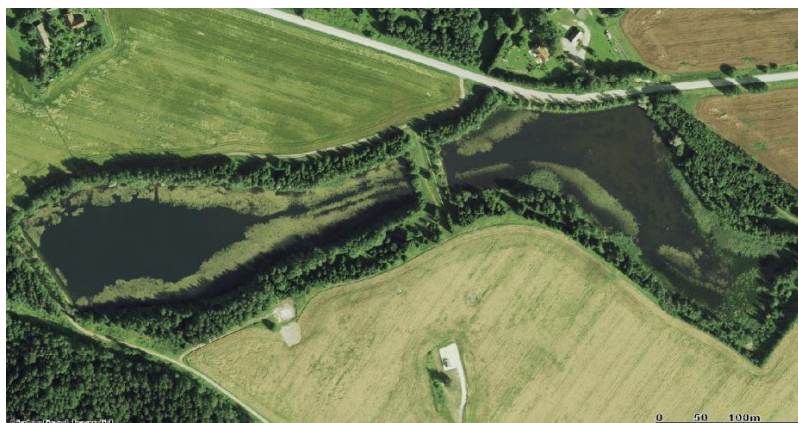
Vedu veehoidla veetase on olnud väga pikka aega projekteeritust madalamal. Maaameti ortofotodelt (vaata jooniseid 1.4, 1.5 ja 1.6) on näha veehoidla vaba veeala vähenemist aastate jooksul. Veehoidla kasvab kinni, see on olulisel määral põhjustatud liiga madalast veetasemest veehoidlas.



Joonis 1.4. Ortofoto veehoidlast aastal 2002.



Joonis 1.5. Ortofoto veehoidlast aastal 2010.



Joonis 1.6. Ortofoto veehoidlast aastal 2017.

Ortofotod veehoidlast aastate jooksul (joonised 1.4; 1.5 ja 1.6) on võrdluseks välja toodud, et näha olukorra muutust veehoidlas.

Vedu veehoidla lääne poolsemasse otsa on projekteeritud siibrikaev. Kaev on välja toodud kaust II joonisel 2, vaata ka joonis 1.7. Siibrikaevust juhiti vesi mööda iseoolset 400 mm läbimõõduga toru vihmuspumbajama. Siibrikaevust juhiti vesi edasi ka põhjalaskmeni. Põhjalase ehitatakse veehoidla tühjendamiseks või veetaseme alandamiseks (EVS 924:2015).



Joonis 1.7. Vedu veehoidla siibrikaev.

Vihmutuspumbajaam oli projekteeritud pumbaga jõudlusega $Q = 142 \text{ l/s}$, maksimaalne surve 55 meetrit. Projekti järgi oli vihmatusvõrgu torustiku materjaliks asbesttsementtorud. Torude läbimõõdud jäid vahemikku 100 – 300 mm. Projektis oli ette nähtud paigaldada vihmatusvõrgu jaoks torustikku umbes 14,5 kilomeetrit, seal hulgas ka 122 hüdrant. Ettenähtud vihmutatava ala brutopind oli 155,8 ha.



Joonis 1.8. Vihmutusvõrgu pumbajaama varemed ja alajaam.

Joonisel 1.8 on näha vihmatuspumbajaama varemed ja alajaam 2018 aasta talvel. Alajaama saab kasutada ära tehislumesüsteemi rajamisel vajamineva voolu jaoks. Käesolevas töös ei ole käsitletud elektriprojekti.

Suvisel perioodil on võimalik veehoidlas ette nähtud kohas ujumas käia, talvisel ajal oli märgata, et veehoidlal uisutatakse ja püütakse kala.

1.2. Veehoidla uuring

Käesoleva magistritöö raames tehti 2018 aasta talvel Vedu veehoidla hüdrotehniline uuring, kokku 48 uuringupunktis. Uuringu eesmärk oli selgitada veehoidla põhja kõrgused, settekihi paksus ja saada ülevaade pinnastest veehoidla põhjas. Uuring tehti veehoidla jääkatte pealt.

Uuringu käigus kogutud andmete põhjal on koostatud tabel (vaata lisa 1), kus on välja toodud kõikide uuringupunktide asukohas veekihi paksus, muda pindmine kiht ja veehoidla põhja sügavus. Välistöö päeval mõõdeti Vedu veehoidla veetaseme abs. kõrguseks 73,01 meetrit, mis jääb algselt projekteeritud tasemest 0,99 meetri võrra madalamale.

Välitööde teostamisel kasutati järgmisi seadmeid ja abivahendeid (vaata joonis 1.9):

- 1) Jääpuur
- 2) Kajalood
- 3) Jõhv koos kerge raskusega
- 4) Eijkelkamp pinnase sondeerimise komplekt
- 5) GPS
- 6) Kelk

Kelku kasutati välitööde käigus teiste seadmete ja abivahendite transpordiks.



Joonis 1.9. Seadmete ja abivahendite transpordiks kasutatud kelk

Enne tööde alustamist koostati esialgne uuringupunktide asukohaskeem. Uuringupunktide asukohtade valikul välditi maagaasitorustiku trassikoridore. Maagaasitorustiku paiknemine on esitatud kaust II joonisel 2. Välitöödel uuringupunktide asukohti mõnevõrra täpsustati. GPS seadme abil fikseeriti uuringupunktide asukohad.

Hiljem konverteeriti GPS seadmega saadud kordinaadid maa-ameti kordinaatide kalkulaatoriga ümber LEST97 plaanilisteks ristkoordinaatideks. Ümber konverteeritud kordinaadid on välja toodud tabelis 1.1 ja puuraukude asukohad LEST süsteemis on välja toodud veehoidla asendiplaanil (vaata kaust II joonis 2).

Tabel 1.1. Puuraukude kordinaadid LEST süsteemis.

Uuringupunkti nr.	X	Y	Uuringupunkti nr.	X	Y
1	6487903	660762	25	6487986	660417
2	6487891	660753	26	6487974	660411
3	6487879	660746	27	6487983	660409
4	6487869	660738	28	6487996	660405
5	6487911	660673	29	6488003	660403
6	6487917	660679	30	6487937	660313
7	6487924	660688	31	6487949	660309
8	6487933	660697	32	6487963	660305
9	6487975	660604	33	6487972	660302
10	6487985	660610	34	6487903	660258
11	6487995	660614	35	6487912	660249
12	6488004	660623	36	6487931	660242
13	6488024	660642	37	6487947	660235
14	6488042	660520	38	6487963	660232
15	6488029	660523	39	6487956	660068
16	6488013	660527	40	6487947	660073
17	6488003	660533	41	6487931	660084
18	6487992	660483	42	6487913	660097
19	6488002	660480	43	6487895	660110
20	6488015	660475	44	6487908	660092
21	6488024	660474	45	6487929	660079
22	6488010	660462	46	6487943	660068
23	6488000	660472	47	6487886	660759
24	6487997	660414	48	6487876	660751

Objektile alustati tööd aukude läbi jää puurimisega jääpuuriga (joonis 1.10). Järgnevalt kasutati kajaloodi, mille toiteallikaks oli aku. Kajaloodiga mõõtmisel asetati andur võimalikult veepinna lähedale, et määrata võimalikult täpne sügavus.



Joonis 1.10. Läbi jää puurimiseks kasutatud puur.

Kajaloodiga mõõtmisel saadi muda ülemise pinna sügavus mõõdetuna veepinnast. Kajaloodi mõõtmistulemusi kontrolliti korduvalt käsitsi jõhvi otsa riputatud kerge raskusega ja mõõtlatiga. Kajaloodiga mõõtmistulemused erinesid kontrollmõõtmistest kuni mõne sentimeetri võrra. Mudakihi paksus oli 10...20 cm. Kajaloodiga (joonis 1.11) tuleb arvestada, et sellega saadud sügavus on nii öelda muda pindmine kiht.



Joonis 1.11. Kajaloodi komplekt.

Järgmiseks sammuks oli vaja saada teada mudakihi paksus. Seda sooritati spetsiaalse Eijkelkamp ettevõtte poolt toodetud pinnase sondeerimise komplektiga (joonis 1.12), mis koosnes meetristest omavahel keereühendusega ühendatavatest varrastest. Eijkelkamp sondeerimise komplektiga oli võimalik mõõta kuni 7 meetri sügavuseni. Töö nägi välja nii, et

latt lasti vaikselt põhja, kuni see enam ei vajunud, seejärel suruti paraja jõuga latt nii sügavale edasi kuni vastu tuli juba veehoidla mineraalpinnasest põhi. Eijkelkamp lati osa, mis suruti põhja on keerd kujuga puur, latti ei keeratud, sest vastasel juhul oleks ots tungind läbi põhja mineraalpinnase ja mõõdud veehoidla põhjani oleksid olnud valed.



Joonis 1.12. Eijkelkamp latt.

Veehoidla põhjast pinnaseproovi võtmiseks kasutati Eijkelkamp spetsiaalset proovivõtmise klapi sondi otsa (Joonis 1.13). Proovivõtmis ots võimaldab veekogu põhjast pinnaseproove võtta, kuid koosneb kahest osast õõnsast vardast ja seda katvast klapist. Klapiga sond surutakse vajalikule sügavusele, seejärel sooritatakse üks täispööre, mis sulgeb klapi. Põhjast võetud proov jääb otsa sisse, mis tõmmatakse välja ja taasavatakse, et analüüsida materjali.



Joonis 1.13. Eijkelkamp klapi sondi ots geoloogilise proovi võtmiseks.

Välitöödel saadud tulemustest koostati tabel (vaata lisa 1), kus on vastavalt puuraugupunktile välja toodud sügavus pindmise mudakihini ja sügavus veehoidla põhjani, mudakihi paksuse saab kätte, kui lahutada veehoidla põhja sügavusest mudakihi pindmine sügavus. Märkuste lahtris on veehoidla põhjas olnud pinnase kirjeldused.

Teostatud puuraukude mõõtmistulemuste põhjal on Vedu veehoidlas keskmine sügavus 2 meetrit, arvestatud on mõõdetud sügavusi mudakihi pindmise kihini. Keskmine mudakihi paksus mõõdetud tulemuste põhjal on 0,5 meetrit. Uuringute käigus selgus, et Väike-Vedu veehoidlas on mudakiht paksem, põhjuseks võib olla, et veetase on liiga madal, tekib kinnikasvamise oht. Tavaliselt loetakse, et kinnikasvamise oht on suurim alal, mille sügavus on vähem kui 2,5 m (E. Saaremäe). Keskmine sügavus Väike-Vedu veehoidlas on kõigest 1,2 meetrit, samas kui lääne poolsema veehoidla keskmine sügavus on mõõdetud tulemuste põhjal 3 meetrit. Keskmise sügavuse arvutamisel on arvestatud puhast vett ehk sügavust kuni pindmise mudakihini, põhjusel, et antud magistritöös käsitleme tehislumesüsteemi, statsionaarse torustiku projekteerimist ja suusaraja tehislumega katmiseks vajamineva vee hulgaga, mis tähendab, et antud töös peame arvestama vee kogusega, mida saame kasutada.

Tulemuste tabeli põhjal on koostatud veehoidlast pikiprofiil teljest A, teljeni H (vaata kaust II joonis 5). Veehoidla pikiprofiililt on näha, et lääne poolsem osa on palju sügavam, kui ida poolsem osa. Vihmutusvõrgu pumbajaama veehaare ehitati sügavamasse kohta, et saada maksimaalset veekogust veehoidlast, rajati iseoolne toru kõige sügavamasse kohta.

Arvestades sügavust kuni mudakihi pindmise kihini, siis kõige sügavamad punktid mõõdeti uuringupunktides nr. 6 ja 7, mille sügavuseks mõõdeti mõlemas punktis 4,9 meetrit, madalaim koht mõõdeti uuringupunktides nr. 47 ja 48, kus sügavus mõlemas punktis kõigest 0,3 meetrit.

Tulemuste tabeli põhjal koostati ka ristprofiilid 1-9 (Kaust II joonised 6-14). Ristprofiilide teljed on välja toodud veehoidla asendiplaanil (kaust II joonis 2). Ristlõige nr. 1 on lõige kõige sügavamast osast veehoidlas, ristlõige nr. 9 on koostatud kõige madalamast osast veehoidlas.

Veehoidla maa-ala paikneb väikeses orus, projekti geoloogilises aruandes on mainitud, et kunagi võis see olla oja või jõe voolusängiks. Kohati esines nii piki oru põhja, kui ka oru nõlvadel alluviaalseid ja proluviaalseid saviliivasid ja liivsavid 0,3 kuni 1,5 m paksuste kihtidena. Turvast esines orus 0,8-3,1 m paksusega. Valitud maa-alal veehoidla rajamisel tuleb

arvestada, et põhiliselt jääb tulevane veehoidla saviliivmoreenpinnasesse, mille filtratsioonimoodul on 0,1-0,2 m/ööp. Tulevase veehoidla põhjast tuleks eemaldada huumuskiht, turba-, allikalubja- ning sapropeelikiht. (Tartu rajooni kolh. Avangard Vedu II vihmutus. Geoloogiline aruanne)

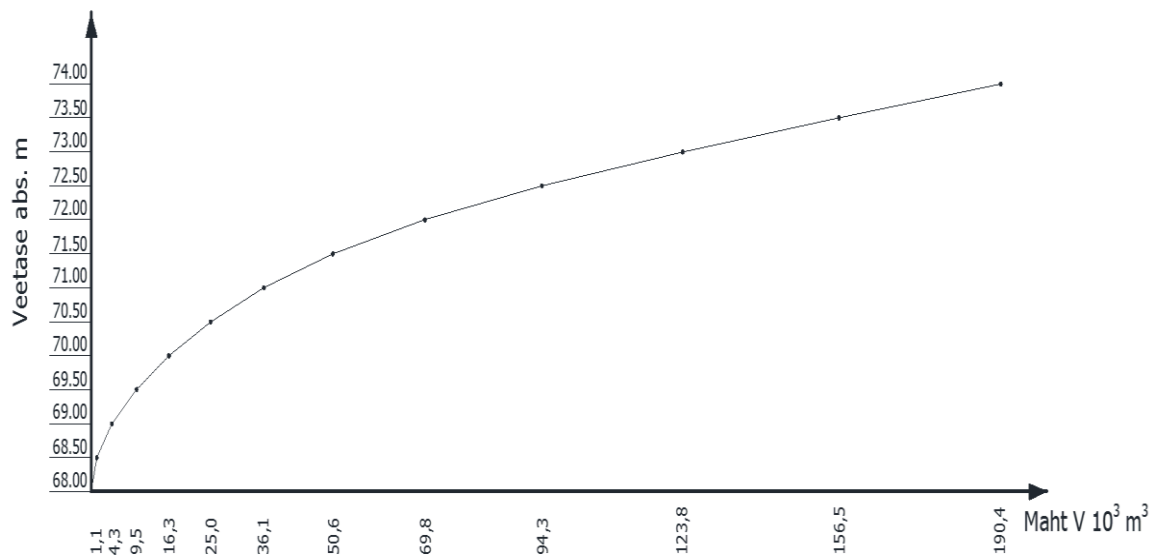
Uuringupunktide põhja geoloogilise materjali proovi võtmisel selgus, et kõige rohkem esineb liivsavi ja saviliiv pinnast (joonis 1.14), selle järeltusega kasutatakse edasistes arvutustes filtratsioonimoodulit 0,1 m/ööp. Väike-Vedu veehoidlas esines ka turvast, ristlõike joonisel nr. 7 on näha, et turba kiht ulatub 6,3+ meetri sügavusele (vaata kaust II joonis 12). Välitöödel kasutatud Eijkelkamp sondeerimise komplekt jäi lühikeseks, et saada teada turbakihi lõppu. Vanas projektis on öeldud, et tuleks põhjast eemaldada turbakiht, sellegi poolest on jäänud see tegemata.



Joonis 1.14. Hallikas saviliiv.

Praeguses olukorras on veetase veehoidlas liiga madal ja veehoidla kasvab kinni, eriti Väike-Vedu veehoidla osa. Olukorda parandaks, kui veehoidlat pidevalt täita ja hoida veetasel projektis ette nähtud absoluutkõrgusel 74,00 meetrit. Magistritöös käsitleme tehislumesüsteemi ja võimalusi toota tehislund, seega veehoidla puhastamine ning turbakihi ja muda eemaldamine ei ole oluline. Kindlasti tuleks enne veetaseme tõstmiskallastelt eemaldada võsa ja puud, mis jäävad veetaseme tõstmisel veepinnast allapoole või vahetult veepiiri lähedusse.

Veehoidlat iseloomustavad andmed (pikkus, laius, keskmine sügavus, pindala ja maht) antakse normaalpaisutustaseme jaoks (EVS 924:2015). Sügavuskihtide planimeetrimise ja osamahtude liitmise teel on Vedu veehoidla kohta koostatud mahukõver (vaata joonis 1.15).



Joonis 1.15. Vedu veehoidla mahukõver.

Mahukõveralt on näha, et normaalpaisutuse juures (abs. 74,00) on veemahuks saadud 190 400 m³. Mahukõvera koostamisel on lähtutud allpool veepinda (abs. 73,00 meetrit) välistöös saadud tulemustest ja ülalpool veepinda (abs 73,00 meetrit) LIDAR-i andmetest.

1.3. Veehoidla veetase

Käesoleva lõputöö koostamise ajal jälgiti veetasemete muutumist veehoidlas ajavahemikul (20.10.2017 kuni 16.05.2018). Vedu veehoidla veetaseme mõõtmist tehti kaevul oleva tugitala suhtes. Kaevu asukoht, kus mõõtmised teostati on välja toodud kaust II joonisel 2.

Joonisel 1.7 on tala tähistatud oranžika aerosooliga. Tugitala on risti läbi kaevu ja on kaevu ülemise pinnaga samal kõrgusel. Mõõtmis skeem on esitatud joonisel 1.16. kus „X“ tähistab mõõtu kaevu tugitalast vee tasemeni, illustreeriv ristlõige on joonisel 1.16. Joonis 1.16 on koostatud Vedu veehoidla projektis esitatud lõike põhjal.

Kaevu kõrgusmärgiks on veehoidla projektis märgitud abs. 74,80 meetrit. 10.04.2018 tehti Geoweb OÜ poolt kaevu tugitala kõrguse kontrollmõõdistus, kasutades RTG GPS seadet Trimble R8. Koordinaadid on arvutatud kolme eraldi initsialiseerimisega tehtud mõõdistuse keskmistena, erinevused jäid vastavalt X-kordinaadis 0,019 meetrit, Y-kordinaadis 0,014 meetrit ja Z-kordinaadis 0,015 meetrit.

Kaevu asukoht L-EST koordinaatsüsteemis:

$X = 6487917.634$

$Y = 660063.551$

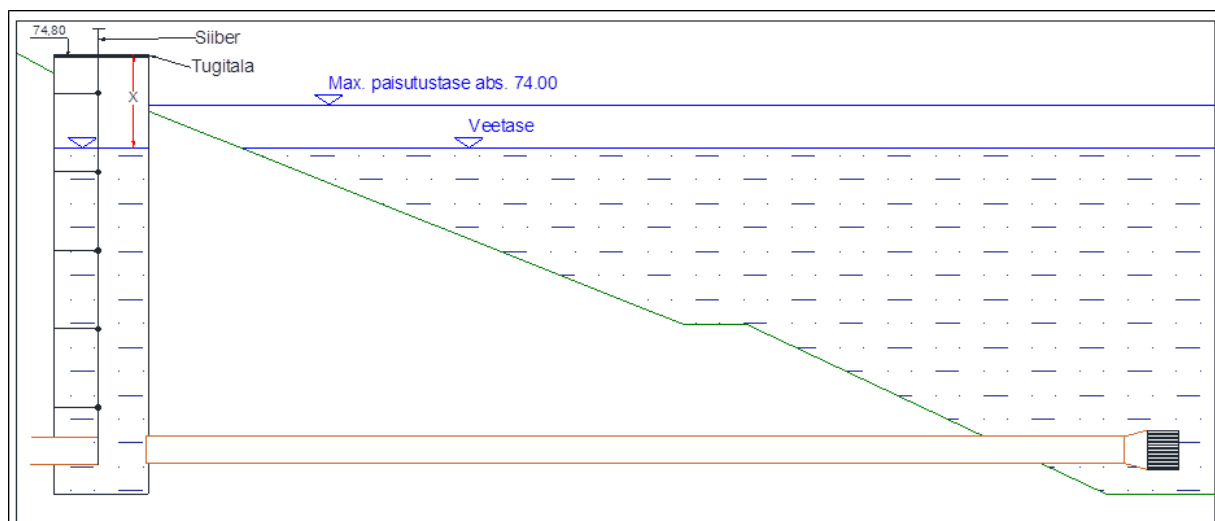
kõrgus EH2000 kõrgussüsteemis:

$Z = 75,061$

2018. aastast arvestatakse Eestis sarnaselt teiste Euroopa riikidega absoluutset kõrgust ja sügavust Euroopa kõrgussüsteemi ehk Amsterdamini nulli suhtes. Eestis loobuti Kroonlinna nullist, mis oli seni kõrgussüsteemi aluseks (Maa-amet).

Saadud kõrgus 75,061 meetrit on uues EH2000 (Amsterdamini nulli suhtes) süsteemis, kõik teised kõrgused on vanas BK77 (Kroonlinna nulli suhtes) süsteemis. Selleks, et saada see BK77 süsteemi, tuleb tulemusest lahutada 0,178 meetrit, teisendamisel on kasutatud maa-ameti lehel olevat kõrguste ümberarvutamise kalkulaatorit. Kui lahutada 75,061 meetrist 0,178 meetrit saame tulemuseks 74,883 meetrit. Kõrguste erinevus võrreldes vana projektiga on $74,883 - 74,80 = 0,083$ meetrit. 8,3 sentimeetrit. Projekteeritud ja kontrollmõõtmisel saadud tulemuste erinevuse võib lugeda ebaoluliseks. Tabelis 1.2 on tulemuste arvutamiseks kasutatud kontrollmõõtmisel saadud kaevu abs. kõrgust 74,883 meetrit.

Tabelis 1.2 on esitatud veetasemed mõõdetud kuupäevadel ja arvutatud veetaseme muutus ja mahumuutumine võrreldes eelmise mõõtmistulemusega.

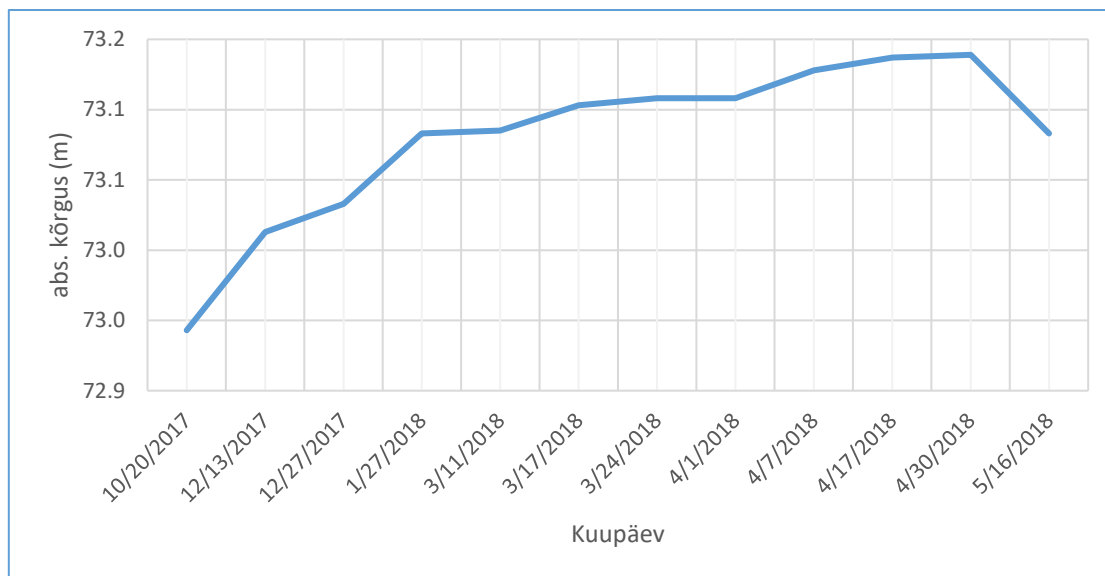


Joonis 1.16. Veetaseme mõõtmine.

Tabel 1.2. Vedu veehoidla veetaseme mõõtmistulemused.

Kuupäev	X (cm)	Veetase veehoidlas (abs)	Muutus (cm)	Veemahu muutus veehoidlas $\cdot 10^3$ (m ³)	Märkused
20.10.2017	194,0	72,9	0		Mõõtmise enne esimest lund
13.12.2017	187,0	73,0	7	4,5	Esimene lumi, mõõtmise peale sulamist
27.12.2017	185,0	73,0	2	1,3	Teine lumi, mõõtmise peale sulamist
27.01.2018	180,0	73,1	5	3,2	Mõõtmise peale suuremat sula
11.03.2018	179,8	73,1	0,2	0,1	Ilmastiku soojenemine, esimesed "+" kraadid
17.03.2018	178,0	73,1	1,8	1,1	Sooja kraadid, sula
24.03.2018	177,5	73,1	0,5	0,3	Ilmastiku soojenemine
1.04.2018	177,5	73,1	0	0,0	Ilmastiku soojenemine
7.04.2018	175,5	73,1	2	1,3	Mõõtmise peale lume sulamist, jää alles
17.04.2018	174,6	73,1	0,9	0,6	Mõõtmise peale jää sulamist
30.04.2018	174,4	73,1	0,2	0,1	Eelnes väheste sademetega periood
16.05.2018	180,0	73,1	-5,6	-3,6	Eelnes soojem sademeteta periood

Tabeli märkuste lahtris on kirjeldatud mõõdetud kuupäeva eelnevaid ilmaolusid, mõõtmist alustati sügisel, enne lume maha sadamist. järgnevad mõõtmised on toimunud peale suuremaid sulamisi. Kevade poole on tõusu muutuse põhjuseks rohke vihm või vihma puudumisel taseme langust põhjustav aurumine ja filtratsioon läbi veehoidla põhja. Oktoobrist kuni aprillini mõõdetud tulemustest veetaseme langust pole, mõõdetud perioodi jooksul juurdevool ületas kaod ja veetase veehoidlas tõusis. Mai kuus mõõdetud tulemus näitab 5,6 sentimeetrist langust ehk 3600 m³ veekadu veehoidlast. Veetaseme muutumine vaatlusperioodil on esitatud joonisel 1.17.



Joonis 1.17. Veehoidla veetasemete mõõtmistulemused 20.10.2017 – 16.05.2018.

Veetase tõusis mõõdetud perioodi jooksul 14 sentimeetrit, mis omakorda tähendab, et veemaht suurenes kokku 9000 m³ võrra.

2. LUMI JA LUMIKATE EESTIS

2.1. Mõisted ja vaatlusandmed

„Lumeks nimetatakse tahkeid sademeid, mis koosnevad jääkristallidest või nende kogumeist – helvestest. Lund moodustavaid jääkristalle nimetatakse sageli ka lumekristallideks. Jääkristallide kuju oleneb peamiselt õhu temperatuurist ja niiskusest, milles nad tekivad ja millise temperatuuriga õhukihte nad langemisel läbivad. Pilvedest võib langeda erineva kujuga lumekristalle, kuid valdavalt on nad heksagonaalse struktuuriga“ (*Doesken, Judson, 1996*).

Lumi tekib pilvedes, mis saavad oma vee veekogudest ja maismaalt aurumise ning transpiratsiooni kaudu. Madala temperatuuri juures moodustunud pilved koosnevad jääkristallidest või allajahtunud veepiiskade ja jääkristallide segust. Jääkristalle ja neist tekkinud moodustisi sisaldavad pilved nii suvel kui talvel. Suvel sulavad jäänõelad atmosfääri alumistesse kihtidesse jõudes ja moodustavad vihma. Talvel ei lase külm õhk peamiselt atmosfääri frontidel tekkivatest pilvedest alla langevatel lumehelvestel sulada ning need jõuavad maapinnani (*Tooming, Kadaja 2006*).

„Külmal ajal kujuneb keskmistel ja suurematel laiuskraadidel lumesadude tagajärjel maapinnale lumekiht, mida nimetatakse lumikatteks“ (*Aruksaar jt., 1964*). Eesti asub piirkonnas, kus lumikate võib väikesel territooriumil olla väga erinev ning erineda suurel määral aastati.

„Püsiva ehk stabiilse lumikatte all mõistetakse lumikatet, mis on maas olnud vähemalt 30 päeva. Sealjuures võib selle perioodi jooksul olla kuni 3 lumeta päeva, mis ei katkesta püsivat lumikatet ja loetakse selle sisse“ (*Kopanev 1978*). Moodustuva lumikatte paksus sõltub eelkõige sadanud lume kogusest ja õhutemperatuurist, kuid oluline osa on siin ka aluspinna omaduste ja tuule koosmõjul. Vaikse ilmaga sadanud lumi moodustab ühtlase paksusega kihi, tuule ja tuisu korral sõltub lume paksus väga palju reljeefist ja tuuletakistustest. Suhteliselt ühtlane on lumikate ka metsas, kus tuule kiirus on väiksem ja pinnatuisku ei ole. Loomulikult kehtib see ainult sama tüüpi metsa korral, kus puude tihedus ja võrade tüüp on ühtlane,

Segametsas, kus lehtpuudega alad vahelduvad okaspuudega ning esineb hõredamaid ja tihedamaid kohti, võib lume sügavus muutuda juba mõne sammu ulatuses mitmekordselt (Tooming, Kadaja 2006).

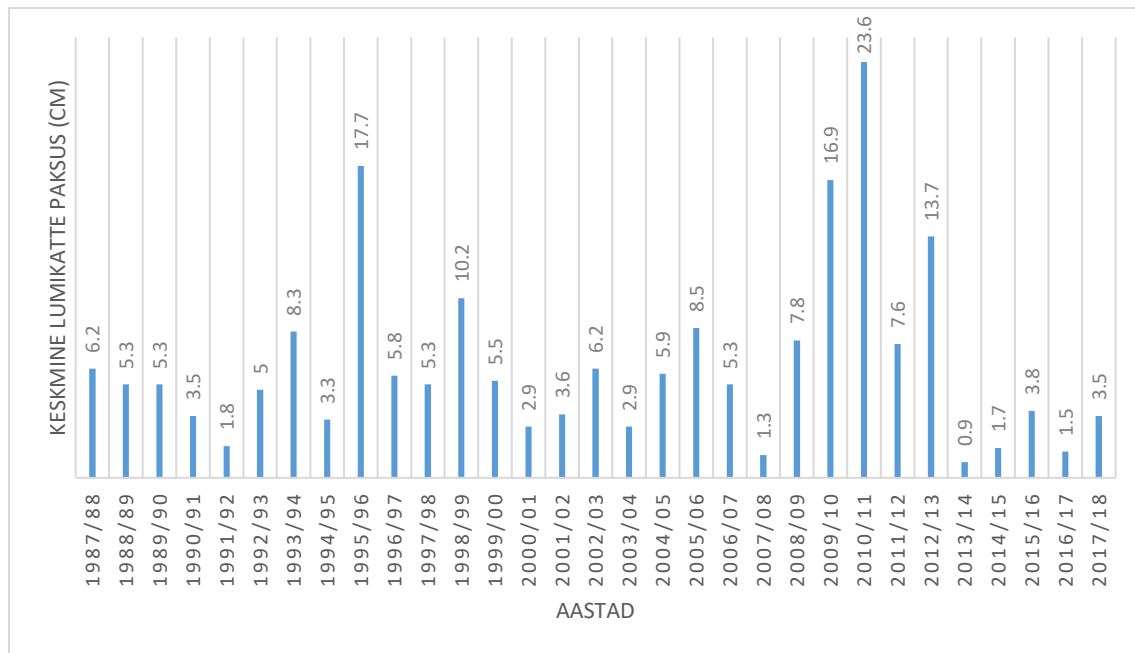
Kuude keskmine lumikatte kestus Tartus aastatel 1961-2001 oli 17 – 18 päeva, keskmine lumikatte kestus talvel on 105 päeva. Lumikatte keskmine paksus 1961-2001 aastatel jäi 3 sentimeetri ja 18 sentimeetri vahele, mis pole piisav püsiva suusaraja jaoks. Metsades on need näidud tavaliselt paremad, kuid siiski ebapiisavad. Lumikatte näidud on metsas suuremad tänu sellele, et puud varjavad lund päikesevalguse eest, mis lund sulataks, sellel põhjusel sulab lumi metsas aeglasemalt ja on soodne koht rajada sinna suusarada. Tabelis 2.1 on välja toodud mõned olulisemad vaatlusandmed kuude lõikes.

Tabel 2.1. Tartu lumikatte vaatlusandmed kuude lõikes perioodil 1961-2001.

	Kuu keskmine lumikatte kestus päevades	Lumikatte keskmine paksus, cm	Lumikatte keskmine paksus metsades, cm	Lumikatte keskmine maksimaalne veevaru metsades, mm
November	10	3	2	4
Detsember	21	7	9	18
Jaanuar	25	12	16	35
Veebruar	24	18	22	45
Märts	21	14	18	50
Aprill	4	3	4	25

Allikas: Eesti lumikatte teatmik.2006.

Tartu-Tõravere meteoroloogiajaama vaatlusandmete põhjal on koostatud joonis 2.1. Joonisel 2.1 on välja toodud 31 aasta vaatlusandmed talvede kohta Tartumaal. Võib öelda, et talved on ettearvamatud, osadel aastatel on lund ja mõnel aastal peaaegu, et polekski. Viimasel viiel aastal on lumikatte keskmine paksus talvedel olnud väga madal. Võrreldes viimaseid 31 aastat, siis kõige lumevaesem oli 2013/14 aasta talv, talve keskmine lumikatte paksus kõigest 0,9 sentimeetrit. Kõige lumerohkem oli 2010/11 aasta talv, keskmine lumikatte paksus jäi 23,6 sentimeetri juurde. 31 aasta lumikatte keskmine paksus on 6,5 sentimeetrit. Lumikatte andmeid loetakse alates novembrist kuni aprilli kuuni.



Joonis 2.1. 1987-2018 aasta talvede keskmine lumikatte paksus Tartumaal

Allikad: Eesti lumikatte teatmik

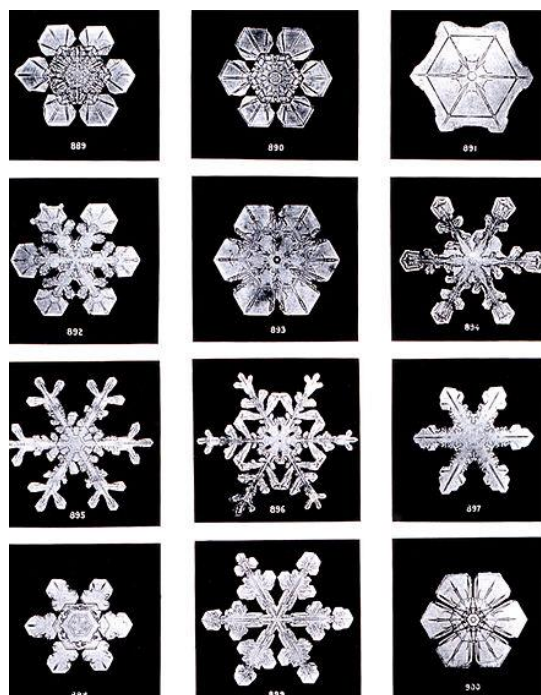
Riigi ilmateenistus

Vaatamata andmetele ei suuda looduslik lumi katta suusarada vajaliku lumega. Korraliku suusaraja saamiseks tuleb teha tehislund.

2.2. Tehislume ja loodusliku lume erinevus

Üks olulisematest erinevustest loodusliku ja tehislume vahel on lumehelveste kuju. Looduslikul lumehelvestel on piisavalt aega moodustuda maapinnale langedes, tehislumel jällegi ainult mõni sekund, enne kui maapinnale langeb. Looduslik lumehelvest saab oma vormi vee molekulidest, mis külmuvad väljastpoolt sissepoole, moodustades heksagonaalse struktuuri, nagu on näha Joonisel 2.2.

Tehislume nukleatsioon toimub ümber südamiku, formuleerides kera kujulised lumehelbed, selle tulemusel on tehislumi palju kompaktsem ja talub sellepärast ka suuremal määral tuule, vee ning temperatuuri mõju.



Joonis 2.2. Võimalikud heksagonaalse struktuuriga lumehelbed

Allikas: W. A. Bentley. 1902. Studies among the snow crystals during the winter of 1901-2, with additional data collected during previous winters.

Värskelt sadanud lume tihedus on 100 kg/m^3 , tehislume tihedus on $400\text{-}500 \text{ kg/m}^3$. Vee tihedus on 1000 kg/m^3 , mis tähendab, et 1 m^3 vett suudab toota $2\text{-}2,5 \text{ m}^3$ lund. Vanem ehk juba kauem maapinnal oleva lume tihedus on 500 kg/m^3 . Nii tehislumi, kui ka looduslik lumi on mõlemad heaks kattepinnaks suusatamiseks (Vagle, B, H. 2016).

Tänu sellele, et tehislumi on palju kompaktsem ja tihedam, sulab see looduslikust lumest umbes kolm korda aeglasemalt. Selle tulemusena kestavad tehislumest tehtud suusarajad kauem. Eelnevast tulenevalt minnakse järjest rohkem üle tehislume tootmisele ning suusarajad tehakse tehislumest.

„Tehislume struktuur on palju parem, vastupidavam ja jääb niiõelda paremini kokku. Loodusliku lume struktuur on liiga õhuline ja isegi, kui teha sellest võistlusteks rada, siis see pole piisav. Võistluste läbiviimiseks soovitakse riskide maandamist. FIS (*Fédération Internationale de Ski, eesti keeles rahvusvaheline suusaföderatsioon*) ja IBU (*International Biathlon Union, eesti keeles rahvusvaheline laskesuusatamise liit*) nõuded näevad ette, et korraldaja peab tagama radade (s.t. lume) olemasolu ning varu vajadusel kasutamiseks, eelduslikult saab see olla vaid tehislume kasutus, sellepärast peaks vähemalt aluskihtki olema

tehislumest. Võistluste pidamiseks on minimaalne vajalik pressitud lumekihi paksus 20 sentimeetrit, hea pressitud lumekihi paksus 40-50 sentimeetrit, lisaks peavad olema varud, juhuks, kui mingit osa rajast on vaja täiustada. „ (N. Ernits. 2018

3. TEHISLUMESÜSTEEM

3.1. Tehislume tootmine

Tehislume tootmisel peab arvestama mitmete teguritega, kõige olulisemad mõjutajad tehislume tootmisel on õhu niiskus ja temperatuur. Vähem tähtsamad, aga olulised on veel tuule kiirus, vee saastatus ning vee piiskade suurus, mis pihustatakse lumetootmisseadmete poolt õhku (Vagle, B, H. 2016). Üldiselt kehtib seos, et mida madalam on niiskus ja temperatuur, seda kvaliteetsemat tehislund on võimalik toota. 10% õhu niiskuse juures on võimalik viletsama kvaliteediga tehislund toota juba 3°C juures. Kui õhu niiskus on 50%, siis saab tehislund toota alates 0°C juures. Kvaliteetset tehislund saab toota alates -2°C ja 10% õhu niiskuse juures, vaata tabel 3.1. Halvimal juhul, kui õhu niiskus on 100%, siis loetakse kvaliteetse lume tootmise temperatuuriks -7°C.

Tabel 3.1. Õhu niiskuse ja temperatuuri mõju tehislume tootmisele.

	Õhu niiskus									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Temp. °C										
-9	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-10	-10	-9
-8	-12	-11	-11	-11	-10	-10	-9	-9	-9	-8
-7	-10	-10	-9	-9	-9	-8	-8	-7	-7	-7
-6	-10	-9	-9	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-6
-5	-9	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-6	-5	-5
-4	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-6	-6	-5	-4
-3	-7	-7	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3
-2	-7	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2
-1	-6	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1
0	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
1	-5	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
2	-4	-3	-2	-2	-1	-1	1	1	2	2
3	-3	-3	-2	-1	-1	0	1	2	2	3
4	-2	-1	-1	0	1	2	2	3	4	4

Hea kvaliteet

Vilets kvaliteet

Ei saa toota

Allikas: Vagle, B, H. 2016. Utilization of surplus heat from snow producing machines.

Tehislumesüsteemi olulisemad osad on veehaare, survetõstepump, veetorustikud koos hüdrantidega ja lumetootmisseadmed. Lumetootmisseadmetena on kasutusel peamiselt kahte erinevat tüüpi seadmeid: toru- ja turbiinseadmed ehk toru- ja turbiinkahurid.

Lumetootmisseadmete varustamiseks veega on vaja rajada kõrgsurvetorustik. Torustik koosneb põhi- ja jaotustorustikust.

Vee võtmiseks veeallikast tuleb projekteerida veehaare, millega on võimalik vett võtta veekogu pindmisest kihist. Seadmeteni peab jõudma parima lumetootlikuse saavutamiseks võimalikult külm vesi. Mõnikord vett jahutatakse eelnevalt. Samas ei tohi vesi olla liiga külm, sest vesi võib külmuda torustikus enne seadmeteni jõudmist.

Mõnikord kasutatakse kaheastmelist pumpamist. Väiksema tõstekõrgusega pumpa kasutatakse vee pumpamiseks survetõstepumpa ja veevõrgu täitmiseks.

3.2. Torukahur

Torukahur koosneb alusest ja mastist kõrgusega 6–12 m, mille külge on kinnitatud pihustid (vaata joonis 3.1). Torukahurites juhitakse vesi surve all läbi kalibreeritud pihustite. Kõrge surve all pihustatud vesi seguneb õhuga segistis ja muutub lumekristallideks. Vee segunemine õhuga kiirendab lumekristallide moodustumist ja suurendab seadme tootlikkust. Torukahurit saab pöörata 360° ja seda reguleeritakse sõltuvalt lumega kaetava ala asukohast, õhutemperatuurist ja tuule suunast. Torukahurite tööraadius on kuni 50 meetrit, olenevalt ilmastiku oludest ja asukohast, võib see olla üle 50 meetri. Tabelis 3.2 on välja toodud nelja erineva ettevõtte pakutavad erinevate tehniliste parameetritega tooted.



Joonis 3.1. Torukahur

Tabel 3.2. Tootjate poolt pakutavad torukahurid

Tootja	Mudel	Vooluhulk, l/s	Lumetootlikkus, m3/h	Töörõhk, bar	Võimsus, kW	Töökaugus, m	Kaal, kg	Tootlikuse ja võimsuse suhe
DemacLenko	EOS 8	6	57	12-50	1,8	10-50	200-247	31,7
	EOS 2016	5,5	50	12-50	2,5	10-50	200-247	19,8
	VIS	5,7	54	15-50	4,3	10-50	212-280	12,6
	VIS UP	5,4	49	15-50	3,2	10-50	212-280	15,3
SMI	V2 Viking	2,7	24	20	4	-	50-120	6,0
	Kid Viking	1	9	20	4	-	50-120	2,3
	Axis	0,8	7,5	20	4	-	50-120	1,9
SUFAG	SNOTEK	7,2	65	18-60	1,5	-	90	43,3
	FOLK	5,2	47	15-60	4	-	75-150	11,8
	STREET	2,9	26	15-60	7,5	-	65-150	3,5
	TAURUS 2.0	6,2	56	15-60	4,1	-	75-150	13,7

Tabel 3.3. Torukahurite tehnilised andmed 20 baari juures.

Tootja	Mudel	Vooluhulk, l/s	Lumetootlikkus, m3/h	Töörõhk, bar	Võimsus, kW	Töökaugus, m	Kaal, kg	Tootlikuse ja võimsuse suhe
DemacLenko	EOS 8	3,2	28,5	20	1,8	10-50	200-247	15,8
	EOS 2016	2,8	13	20	2,5	10-50	200-247	5,0
	VIS	3	27	20	4,3	10-50	212-280	6,3
	VIS UP	2,7	12	20	3,2	10-50	212-280	3,8
SMI	V2 Viking	2,7	24	20	4	-	50-120	6,0
	Kid Viking	1	9	20	4	-	50-120	2,3
	Axis	0,8	7,5	20	4	-	50-120	1,9
SUFAG	SNOTEK	2,4	22	20	1,5	-	90	14,4
	FOLK	1,7	16	20	4	-	75-150	3,9
	STREET	1,0	9	20	7,5	-	65-150	1,2
	TAURUS 2.0	2,1	19	20	4,1	-	75-150	4,6

Seadmete võrdlemiseks on tabelis 3.3 esitatud torukahurite tehnilised andmed, kui töö rõhk on 20 baari. Tabelist on näha, et kõige suurema lumetootlikusega torukahur on Demacenko EOS 8, suudab toota lund 20 baari juures 28,5 m³/h. Torukahur VIS peaaegu samaväärne, kuid vajalik võimsus on kaks korda suurem. SMI poolt toodetud torukahurite kõige suurema lumetootlikusega seade on V2 Viking lumetootlikusega 27 m³/h. SUFAG kõige parema lumetootlikusega torukahur SNOTEK on 22 m³/h. Tabelis välja toodud seadmetest kõige väiksema lumetootlikusega on SMI poolt toodetud torukahur Axis, mis toodab lund 7,5 m³/h.

3.3. Turbiinkahur

Turbiinkahur (vaata joonist 3.2) piserdab õhku imepisikesed veepiisad, mis küllalt madala temperatuuri korral jäätuvad. Madala õhuniiskuse puhul võivad piisakesed külmuda ka nullist kõrgema temperatuuri juures. Turbiinkahurites paneb õhu kiiresti liikuma propeller-turbiin ning õhuvoolu pihustatakse vesi. Osadel tehislumeseadmetel, nimetame neid lumepuhuriteks, on vajaliku suruõhu tootmiseks olemas kompressorid, kus suruõhk seguneb surveveega pihustites. Seadmed vajavad hüdrantide juures survevee ja elektriühendust.



Joonis 3.2. Lähtel kasutuses olev turbiinkahur

3.4. Võrdlus

Turbiinkahurid on oluliselt võimsamad (elektri tarbimine, suurem vajaminev vooluhulk) ja suudavad tehislund toota rohkem kui torukahurid. Tööraadius on samuti suurem, kuid on väga rasked, mille pärast on nendega raskem opereerida.

Käesoleva töö objektil asub suusarada metsas, rada on piisavalt lai, et seadmetega ligi pääseda. Statsionaarne torustik koos väljavõtetega on vajalik, et toota lund hajutatult. Rada asub niiöelda tuulekoridoris, mis on eeliseks torukahuritele. Torukahurid on võrreldes turbiinkahuritega palju kergemad, ökonoomsemad ja töötamise ajal vaiksemad. Torukahurite puuduseks on tuulekoridoris tuule vaikus, sest nende tööraadius sõltub oluliselt tuule kiirusest. Turbiinkahurite tööraadius on vaatamata tuule kiirusele suur, samuti seadmete mass, mis teeb manööverdamise keerulisemaks. Turbiinkahuritega manööverdamisel metsas on oht kahjustada raja ääres olevaid puid.

3.5. Hüdrandid

Hüdrant ehk vesik on paikne seadis vee võtmiseks välisvõrgust (EnDic2004). Tehislumesüsteemi hüdrantidest võetakse vett tehislund tootvate seadmete veega varustamiseks. Hüdrandid paigutatakse suusaradade äärde, selliselt oleks võimalik toota vajaminev lumi terve raja ulatuses, vajaminevas kohas ja vajamineval ajal.

Kõige suuremaks probleemiks hüdrantide puhul on külmumise oht. Hüdrantidesse jääv vesi võib külmudes kahjustada hüdranti. Vee jäätumisel see paisub ja selle tagajärjel võivad tekkida hüdranti praod. Isegi kui hüdrant ei purune võib jäätunud vesi muuta hüdrandi mittekasutatavaks.

Tänapäeval toodetud hüdrandid komplekteeritakse sageli automaatsete tühjendusklappidega, mis avaneb peale hüdrandi sulgemist, rõhu langusel torustikus. Tühjendusklapp asub hüdrantidel külmumispiirist madalamal. Hüdrantide automaatne tühjendusklapp ei saa töötada ainult juhul, kui maapinnas olev veetase on tühjendusklapist kõrgemal.

Tehislumesüsteemidele hüdrantide tootjaid on mitmeid, näiteks USA-s Roger`s Hydrants ja Ratnik Industries The Snowmaking Experts. Mõlemad ettevõtted müüvad hüdrante, mis on spetsiaalselt tehislumesüsteemidele ette nähtud töö rõhuga kuni 105 baari. Hüdrandid on varustatud automaatse tühjendusklapiga. Võimalikuks probleemseks võib muutuda tellimise aeg ja toodete ühendamine lumetootmisseadmete ja kõrgsurvetorustikega.

Eestis toodetakse hüdrante nt Eccua paraku on need mõeldud veevarustuse välisvõrgust tulekustustusvee võtmiseks. Eccua poolt pakutud hüdrandid on toodetud töö rõhule kuni 16 baari, suurema surveklassi jaoks peaks tegema eritellimuse. Tehislumesüsteemide puhul peaks surveklass olema vähemalt PN20.

Firma Alvenius, mis toodab tehislumesüsteemide kõrgsurvetorustikke, valmistab ka spetsiaalseid hüdrante, mis on mõeldud tehislumesüsteemidele vaata joonis 4.3. Alveniuse poolt pakutud hüdrantide surveklass on PN25. Need hüdrandid on hõlpsasti ühendatavad kõrgsurvetorustikuga. Hüdrandid on varustatud automaatse tühjendusklapiga, mis hakkab tööle automaatselt rõhu langedes hüdrandis.



Joonis 3.3. Firma Alvenius hüdrant

3.6. Tehislumesüsteemi torumaterjalid

Kõrgsurvetorude materjalina kasutatakse PE (polüetüleen) plasttorusid, malmtorusid ja plastiliste omadustega raudtorusid (näiteks Ductile).

Euroopas on levinud kõrgsurvetorustike materjalidena Alvenius FlowMax® torud. Kõrgkvaliteetset terastorusid toodetakse Rootsis, mille miinimum tõmbetugevus on 420 Mpa ja suurim lubatud töö rõhk kuni 100 baari. Tänu eripärasele valmistustehnoloogiale on võimalik torusid toota õhukese, aga samas väga tugeva seinaga ning torud säilitavad ka paigaldusjärgselt oma kuju ilma deformeerumata (Alvenius®... , 2017).

Alvenius FlowMax® on olemas terviklik süsteem kõikide ühenduste, liitmike, ventiilide, adapterite, siibritega jne. Paigaldus on lihtne, torude ja ühenduste monteerimiseks on vaja vaid mutrivõtit. Paigaldus võtab vähemalt kümme korda vähem aega, kui keevitust vajavad analoogsed süsteemid.

Torude sisemine termoplastiline kattepinna muudab toru sisemised seinad väga siledaks, absoluutkaredus 0,05 mm. Tootja poolt on ette antud suurim lubatud voolukiirus kuni 4 m/s. Kaalu vahe võrreldes Ductile torudega on ligi 70%, ning arvestades erinevaid toru läbimõõte on erinevus plastorudega võrreldes kuni 50%.

Alvenius FlowMax® torusüsteemi eelised (Alvenius®... , 2017):

- Terviksüsteem ühenduste ja liitmikutega võimaldab kiiret paigaldamist
- Väike hõõrdetakistus
- Hooldus- ja remonditöödel katkestusaeg on lühike
- Suhteliselt hea korrosioonikindlus

4. VEDU TERVISERAJA TEHISLUMESÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

4.1. Vedu terviseraja ülevaade

Vedu terviserada asub Tartu maakonnas, Tartu vallas, Vedu külas, 17 km Tartust. Terviserajal on võimalik harrastada erinevaid spordialasid: suusatada (piisava lumikatte olemasolul), joosta, rattaga sõita. Tegevust leidub spordiharrastajatele aastaringselt.

Terviserada on kogu ulatuses riigile kuuluva metsa sees. Lumerohketel talvedel, on Vedu terviserada ühendatud suusarajaga Lähte terviserajaga, mis asub 3 kilomeetri kaugusel lääne pool. Lähte ja Vedu terviseradade rajameistri hinnangul Vedu terviserajal pole olemasolevate seadmetega kahjuks võimalik lund toota.

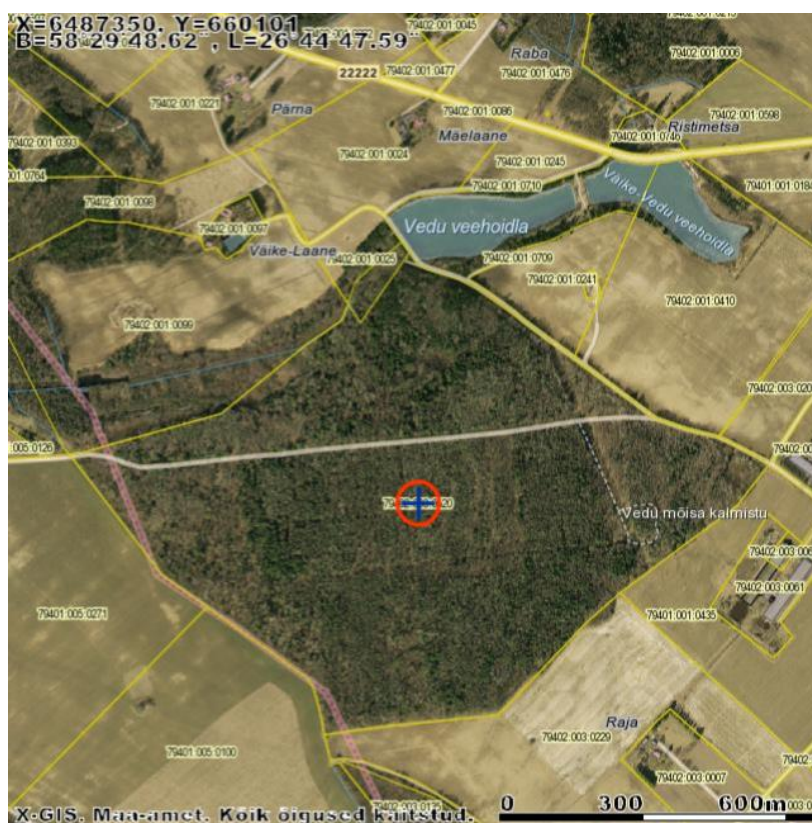
„Rajad on ühendatud ainult juhul, kui maha on sadanud piisavalt loodusliku lund ja masinatega on rada sisse sõidetud, sest Vedu terviserajal puudub süsteem lumetootmiseks ja tehislund pole Vedu terviserajal olemasolevate seadmetega kahjuks võimalik toota, kuna lähim veevõtu koht asub liiga kaugel rajast ning seadmed ei suudaks vajaliku pindala ära toita“ (Robi, J. 2017). Olemasolev suusarajamasin on välja toodud joonisel 4.1.



Joonis 4.1. Lähtel ja Vedul kasutuses olev suusarajamasin.

Vedu terviserada on 2,2 kilomeetrit pikk ja võrreldes Lähte radadega, natuke tasasema reljeefiga ning raja läbimine on kergem. Maapinna kõrguste vahe on 26 – 27 meetrit. Madalaim maapinna absoluutkõrgus Vedu terviserajal on 64,0 meetrit ja kõrgeim koht 90,5 meetrit. Pikim laskumine/tõus asub põhja poolsel raja lõigus, 647 meetrit pikk, kaldega 32%. Rada jääb niiõelda tuulekordiori, mille laius on varieeruv vahemikus 8 – 15 meetrit. Raja laius on piisav, et talvel oleks võimalik rajale teha ühesuunalise liikumisega suusarada ja seda hooldada. Vaata ka kaust II joonis 3.

Vahetult Vedu terviseraja lähedal suuremaid veekoguseid ei ole peale Vedu veehoidla. Vedu veehoidla asub terviserajast 400-500 meetri kaugusel ja on avalikult maalt juurdepääsetav. Terviseraja läheduses paiknevad kuivenduskraavid on väikese valgala ja nendes vee voolamine sisuliselt puudus.



Joonis 4.2. Vedu terviserada (Maa-ameti kaardirakendus X-GIS. 2017)

4.2. Veevajadus

Tehislume tootmiseks veevajadus sõltub toodetava lume mahust. Vajalik tehislume maht sõltub lumega kaetava ala pindalast ning lumekihi paksusest rajal.

Nii Lähte kui Otepää suusaradade hooldajate arvates peab suusaraja lumekihi paksus olema vähemalt 30...50 cm (J. Robi, N. Ernits). Antud töös on võetud edasisteks arvutusteks lumikatte paksuseks 45 sentimeetrit.

Tehislume mahukaal on 400-500 kg/m³ (Vagle, B, H. 2016). Vee tihedus on 1000 kg/m³. Sellest tulenevalt on vee/lume suhet näitav tegur 2,0 - 2,5. Edasistes arvutustes on selleks teguriks võetud 2,0.

Tehislume tootmiseks vajaminevad algandmed on järgmised:

Raja pikkus	2,2 km;
Raja laius	5 m;
Lumikatte paksus	45 cm;

Terviseraja lumega kaetav pindala on kokku 1,1 hektarit. Raja pindala ja lumikatte paksusega arvestades tuleb tehislund toota arvutuste põhjal 4950 m³, jagades tulemus läbi vee ja tehislume suhet näitava teguriga, saame vee vajaduseks 2475 m³.

Tehislume tootmisel tuleb arvestada, et 10% toodangust läheb kaduma (näiteks kandub tuulega kõrvalaladele), ning selle võrra on vee vajadus suurem. Arvestades 10% kaoga, siis on vaja tehislund toota 5445 m³, mis tähendab, et tehislume tootmiseks on vaja 2723 m³ vett, et katta terve rada ära vajaliku lumekihi ühe kord. Vajaliku vee koguse arvutustes tuleb arvesta ka vajaliku varuga. Ühe suusahooaja kestel tuleb rada katta vajaliku lumega korduvalt kuni kolm korda. 2016/2017 talvel toodeti Lähel rajale lund kaks korda. Lõpptulemuseks saame vajaliku vee hulga, milleks on ümardatult 8200 m³. Selle tulemusega peame arvestama veehoida täitmisel aastas.

4.3. Vedu terviseraja tehislumesüsteemi seadmete valik

Vedu terviseraja tehislumesüsteemi lahenduse koostamisel arvestatakse võimalikul määral Lähte suusarajal kasutatavate lahenduste ja seadmetega.

Lumetootmiseseadmetest on Lähtel kasutusel 2 turbiinkahurit Technoalpin. Technoalpin turbiinkahurite M18 võimsus on 12,5 kW, lumetootlikus 20 baari juures 20 m³/h. Lisaks kahele olemasolevale turbiinkahurile arvestatakse ka kahe sobiliku torukahuriga.

Rajameistri hinnangul oleks Vedu terviseraja puhul lihtsam toota tehislund torukahuritega kasutades ära metsas tekkivaid tuulekoridore ja torukahuritega on lihtsam opereerida (J. Robi, 2017).

Torukahuri valikul lähtume tehislume tootlikuse ja tarbitava võimsuse suhtest, vaata tabel 3.3. Tabelis 3.3. esitatud torukahuritest kõige enam jäävad silma kaks toodet:

- 1.) Demaclenko poolt pakutav EOS 8.
- 2.) SUFAGi poolt pakutav torukahur SNOTEK.

Demaclenko torukahur EOS 8 on tootlikuse poolest SNOTEK torukahurist paremate näitajatega. Lähte ja Vedu rajameister pidas seadmete kasutamisel oluliseks ka nende massi (J. Robi, 2017). EOS 8 kaalub peaaegu kolm korda rohkem kui SNOTEK, mis kaalub 90 kilogrammi, siis lõplikuks valikuks jääb SUFAGi poolt toodetud torukahur SNOTEK.

Turbiinkahur M18 vajalik vooluhulk on 3,4 l/s, SNOTEK torukahuril 2,4 l/s. Edasisel tehislumesüsteemi kavandamisel arvestatakse olukorraga, kui kõik 4 seadet töötavad samaaegselt. Maksimaalseks vooluhulgaks on sellisel juhul 11,6 l/s, millega arvestatakse järgnevalt torustiku dimensioneerimisel ja pumpade valikul. Vaata ka lisa 3.

Valitud seadmetega (2 SNOTEK torukahurit) suudetakse terviserada katta lumega 158 tunniga. Kui töötavad kõik 4 lumetootmiseseadet (kaks torukahurit ja kaks olemasolevat turbiinkahurit), siis kaetakse suusarada vajaliku lumega 65 tunniga.

4.4. Tehislumesüsteemi veehaare ja veevõrk

Tehislumesüsteemi välisvõrgu kavandamisel on mõistlik arvestada selleks otstarbeks toodetavate materjalide ja toodetega. Vedu terviseraja tehislumesüsteemi projekteerimisel on arvestatud ettevõtte Alvenius FlowMax® torumaterjalidega. Ettevõtte poolt pakutavad lahendused, lihtsalt monteeritavad ja kõik vajalikud elemendid (torud, hüdrandid, liitmikud) on võimalik saada ühelt tootjalt. Torustike läbimõõdud valitakse vastavalt vooluhulgale nii, et voolu kiirus oleks vahemikus 0,6 kuni 1,4 m/s. Voolukiirus kõrgsurvetorustikus ei tohi ületada 4 m/s. Tehislumesüsteemi veetorustik projekteeritakse 1,8 meetri sügavusele, külmumispiirist alla poole.

Välisvõrgu kavandamisel arvestatakse valitud tehislume tootmisseadmete tööraadiust, mis on 50 meetrit. See tähendab, et iga 50-100 meetri järel tuleks paigaldada seadmele vesik. Hüdrante paigaldatakse sageli vähem, kui nende tööraadius eeldaks, sest paratamatult tuleb tehislume tootmisel seadmeid paigutada (näiteks tuule suunast sõltuvalt) sobivasse asukohta. Lumetootmisseadmete ja vesikute vahel kasutatakse ühendamisel kõrgsurvevoolikuid, et seadmed oleksid ümberpaigaldatavad. Lähte rajameistril on olemas SNOWSTORM voolikud, kogupikkusega 330 meetrit, voolikute töö rõhk on kuni 150 baari.

Arvestades valitud lumetootmisseadmete tööraadiust ja kõrgsurvevoolikute kasutamise võimalusega tuleb 2,2 kilomeetrisele terviserajale paigaldada 11 hüdranti 200 meetriste vahedega. Raja madalamatesse kohtadesse projekteeritakse tühjenduskaevud, et peale tehislume tootmist oleks võimalik torustik veest tühjaks lasta. Vaata kaust II joonis 3.

Tehislumesüsteemi veega varustamiseks on vaja veehaaret. Veehaare on ehitis vee võtmiseks veekogust või põhjaveekihi (EnDic2004).

Veehaardeid võib liigitada veeallika järgi: jõeveehaarded, järve või veehoidla veehaarded, mereveehaarded, põhjaveehaarded (V. Tamm, 1999).

Veehaardeid liigitatakse ka otstarbe järgi, kasutusperioodi järgi, sissevooluavade paiknemise järgi, veehaarde ja 1. astme pumpla järgi. (J. Karu. 2016).

Veehaardeid liigitatakse pinnaveehaarde kasutusperioodi järgi püsiveehaareteks ja ajutisteks veehaareteks.

Põhi nõuded veehaaretele (V. Tamm, 1999):

- 1.) Veehaare peab vastavalt vajadusele (tarbimis-graafikule) kindlustama häireteta veevoolu veekogust tarbijale,
- 2.) Veehaare peab takistama uhteainete, lobjaka ja muu prahi sattumist veetarbimissüsteemi.

Lähte ja Vedu suusaradade rajameister kasutab Lähtel ajutist veehaaret. Survetõstepump tuuakse haagisega (lume tootmise ajaks) veekogu kaldale ning vesi võetakse ajutiste torustike abil veekogust ja juhitakse samuti ajutiste torustike abil turbiinkahuritesse. Sageli kasutatakse kahte jadamisi ühendatud pumpa, esimene on sukelpump ja teine on survetõstepump, et vältida probleeme (kavitatsioon, pumba täitmine) survetõstepumbaga. Vedu veehoidlast vee võtmisel on otstarbekas kasutada ajutist veehaaret. Ajutise veehaardega on kõige paremini võimalik tagada tehislume tootmisel veehaardele esitatavad põhinõuded, sealhulgas ka võimalikult külma vee haaramine veekogust. Torustiku materjalid on välja toodud lisas 3.

4.5. Veevõrgu hüdrauliline arvutus

Veemajanduses rakendatakse ümara ristlõikega survetorustikke. Tegu on enamasti muutumatu voolamisega ja vool on ühtlane, kui toru läbimõõt on piki voolu ühesuurune. Pikkades survetorustikkudes on hõõrdesurvekadu kohtsurvekaost suurem. Kohtsurvekadu ei arvutata, vaid võetakse arvesse hõõrdesurvekao suurendamisega 5 kuni 10%. Pikad torustikud jagunevad omakorda liht- ehk transiittorustikeks, liittorustikeks ning muutuva vooluhulgaga torustikeks. Liittorustik koosneb mitmest liht- või muutuva vooluhulgaga torustikust, mis võivad olla ühendatud järjest (jadatorustik) või paralleelselt (rööptorustik)“ (Maastik jt, 1995).

„Hargvõrgu arvutus seisneb torustikuosade läbimõõtude määramises ning vajaliku surve H selgiamises torustiku alguses (pumplas, hüdrofooris, veetornis). Määratavaks osutub punkt, mille jaoks on vaja kõige suuremat survet. Peatorustiku jaoks vajalik surve toitepunktis H arvutatakse valemiga (4.1).“ (Maastik jt, 1995)

$$H = x \sum h_l + (z - z_A) + H_v, \quad (4.1)$$

Kus:

h_l – kogusurvekadu torustiku algusest (toitepunktist) arvutuspunktni;

x – kohttakistusi arvestatav tegur;

z – torustiku kõrgusmärk arvutuspunktis;

z_A – torustiku kõrgusmärk toitepunktis;

H_v – nõutav vabasurve arvutuspunktis.

Arvutuse lähteandmeteks on võrgu plaanlahendus, torustike pikkused, maapinna kõrgusmärgid võrgusõlmedes (vaata kaust II joonis 3) ja veetarbimine. (Maastik jt, 1995)

Vajalik surve torustiku alguses määratakse peatorustiku pidi, mis algab toitepunktis ja lõpeb kõige raskemates oludes (suur vooluhulk, kõrge või kaugel oleva sõlmega (Maastik jt, 1995). Antud töös kõige kõrgemateks punktideks on punktid 9 ja 11. Vaata Kaust II jooniseid 3 ja 4.

„Arvutus algab iga peatorustikulõigu arvutusvooluhulga määramisega ja see sünnib kaugemast lõigust toiteallika poole: vesi pääseb ju kaugematesse lõikudesse ainult süsteemi toitepoolsest otsast.“ (Maastik jt, 1995).

Käesolevas töös arvestame lumetootmiseadmete vooluhulgaga, milleks on 4 seadme peale kokku 11,6 l/s. Kusjuures peame arvestama olukorraga, et igas väljavõtu punkti juures saab töös olla ainult 1 lumetootmiseade, vaata kaust II joonis 3. Kõige kaugemasse punkti peab jõudma vähemalt ühe lumetootmiseadme suurim vooluhulk ehk siis turbiinkahuri vooluhulk 3,4 l/s, mis on torukahuri 2,4 l/s vooluhulgast suurem, vaata ka tabel 4.1.

„Kui vooluhulgad teada, otsitakse valitud torumaterjalile vastavad soodsad läbimõõdud ja ekvivalentkaredus Δ_e , leitakse Moody graafikult hõõrdetakistustegurid ning arvutatakse hõõrdesurvekadu h_l igas torustikulõiguses“ (Maastik jt, 1995).

Tabelis 4.1 on esitatud arvutuste tulemused igal torustiku liinil, vooluhulgad, toru läbimõõdud, liini pikkus ja survekadu lõigul. Toru läbimõõdu arvutamiseks on kasutatud nomogrammi, arvestades vooluhulkasid ja torustiku absoluutkaredust 0,05.

Tabel 4.1. Kõrgsurvetorustiku survekadu ja läbimõõdud vastavalt vooluhulgale.

Liini nr.	Q (l/s)	DN		100i	v (m/s)	L (m)	ht
liin 13-12	3,4	80		0,5	0,6	200	1,0
liin 12-11	6,8	80		1,4	1,1	200	2,8
liin 11-10	9,2	100		0,8	1,0	200	1,6
liin 10-9	11,6	100		1	1,1	200	2,0
liin 9-8	11,6	100		1	1,1	172	1,7
liin 8-2	11,6	100		1	1,1	183	1,8
liin 7-6	3,4	80		0,5	0,6	200	1,0
liin 6-5	6,8	80		1,4	1,1	200	2,8
liin 5-4	9,2	100		0,8	1,0	200	1,6
liin 4-3	11,6	100		1	1,1	170	1,7
liin 3-2	11,6	100		1	1,1	32	0,4
liin 2-1	11,6	100		2,4	1,4	454	10,7

Tabelist 4.1 leiame kogu torustiku summaarse hõõrdesurvekao, milleks on 29,1 meetrit. Arvestama peab ka kohtsurvekaoga, mida eraldi ei arvutata, vaid lisatakse 10% hõõrdesurvekaole. Summaarne survekadu kogu torustikus on $29,1 + 2,91 = 32,01$ meetrit.

4.6. Pumbad

„Pump on seade vee või muu vedeliku liikumapanemiseks (tõstmiseks madalamalt tasemelt kõrgemale, edasitoimetamiseks mööda torustiku). Pumpasid liigitatakse kasutusala, pumbatava vedeliku (vesi, õli, hape, pulp, reovesi jm.) ehituse ja tööpõhimõtte järgi.“ (Maastik jt, 1995)

Tehislumesüsteemi veega varustamiseks kasutatakse kahte pumpa, vaata kaust II joonis 2. Teisaldatava sukelpumbaga P1 pumbatakse vesi veehoidlast pumbale P2 ja pumba P2 ülesanne on tagada vajalikul hulgal ja survele vesi hüdrantides.

Pumba tööd iseloomustavad järgmised parameetrid (Maastik jt, 1995):

- Jõudlus (vooluhulk) Q, pumba ajaühikus läbiva vedeliku maht m^3/s , m^3/h , l/s , l/min ,
- Tõstekõrgus (surve) H m,

- Võimsus P kW,
- Kasutegur η (absoluutarv või %),
- Kavitatsioonivaru Δh (inglisekeelses kirjanduses NPSH – *net positive suction head*) m,
- Tööorgani liikumissagedus n (pöörlemis- või käigusagedus p/min, käiku minutis).

Dünaamiline tõstekõrgus leitakse valemiga (Maastik jt, 1995):

$$H = H_{st} + h_t, \quad (4.2)$$

Kus:

H_{st} – Staatileine tõstekõrgus,

h_t – survetorustiku survekadu.

Staatilese tõstekõrguse saame kaust II jooniselt 4, milleks on 6 meetrit (veehoidla veepinnalt kuni statsionaarse torustiku algusesse paigaldatava P2 pumbani). Vooluhulk, millega peame arvestama on 11,6 l/s ehk 41,8 m³/h. Kasutades valemit (4.2) saame dünaamiliseks tõstekõrguseks 10 meetrit.

Grundfos WebCaps sisestades andmed, arvestades vajaliku vooluhulka ja tõstekõrgust ($Q=11,6$ l/s, $H=10$ meetrit), valitakse sobivaim sukelpump. Sobivaimaks sukelpumbaks osutus DW seeria pump 65.39.3.H. Täpsemad andmed ja töögraafikud on välja toodud lisas 2.1. Pumba tõstekõrgus on piisav, et sama pumpa saaks kasutada ka tehislumesüsteemi täitmiseks.

Praeguse seisuga on Lähte ja Vedu suusaradade hooldajal kasutuses 2 survetõstepumpa CR 32-12 A-F-A-E-HQQE. Survetõstepumba jõudlus on 30,1 m³/h (8,4 l/s) ja surve on 185,9 meetrit. Olemasolevad survetõstepumbad on joonisel 4.3.



Joonis 4.3. Olemasolevad survetõstepumbad CR 32-12 A-F-A-E-HQQE.

Täpsemad andmed ja töögraafikud olemasoleva survetõstepumba kohta on välja toodud lisas 2.3. Kuna antud töös arvestatakse olukorraga, kui töös on 4 tehislume tootmisseedet, siis on olemasolevad pumbad ebapiisava vooluhulga ja tõstekõrgusega.

Olemasolevat survetõstepumpa saab kasutada siis, kui kasutatakse olemasolevaid turbiinkahureid, sel juhul oleks vajalik vooluhulk $6,8 \text{ l/s}$ ehk $24,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Kõige raskemas olukorras, kui on töös kõik 4 seadet (2 torukahurit ja 2 turbiinkahurit), tuleb kasutada suurema tõstekõrgusega ja vooluhulgaga survetõstepumpa, sisestades Grundfos WebCapsi õiged andmed.

Vajaliku surve leidmiseks peame arvestama geodeetilise kõrgusega. Kõrguste vahe toitepunktist kuni kõrgeima punktini rajal, milleks on punktid nr. 9 ja 11. vaata kaust II joonist 4. Kõrguste vahe on 10,72 meetrit.

Sisestamiseks vajaminevad andmed: $11,6 \text{ l/s}$, geodeetiline kõrgus 10,72 meetrit. Survekadu statsionaarses torustikus 32,01 meetrit, vajalik rõhk hüdrandis 20 baari (203,95 meetrit). Rakendades andmed valemisse (4.1) saame pumba dünaamiliseks tõstekõrguseks $10,72 + 32,01 + 203,95 = 246,7$ meetrit. Sisestades andmed ($Q=11,6 \text{ l/s}$, $H= 246,7 \text{ m}$) Grundfos WebCaps, leitakse sobivaimaks survetõstepumbaks CR 45-12 50. Täpsemad andmed ja töögraafikud on välja toodud lisas 2.2.

5. VEDU VEEHOIDLA VEEBILANSS

5.1. Veehoidla veebilansi arvutus

Veebilanss on vee juurdetulekut, veekadu ja akumulatsiooni vahetuse iseloomustav näitaja vaadeldavas objektis. Praeguses olukorras on Vedu veehoidla veebilanss pikaajaliselt (aastate lõikes) vaadatuna tasakaalus. Vee juurdevool ja vahetult veehoidlale sadanud sademetest on pikaajaliselt vaadatuna võrdne äravooluga veehoidlast ja kadudega veehoidlast (aurumiskaod, filtratsioonikaod). Äravool veehoidlast puudub seega juurdevool on võrdne veehoidla kadudega. Kui tõsta veehoidla veetaset ja võtta vett lume tootmiseks, siis on vaja veehoidlasse vett juurde juhtida. Veebilanss annab ettekujutuse veega varustatusest. Käesolevas töös tuuakse veebilanss välja aasta lõikes.

Välja peab arvutama kadu veehoidlast, arvestades sademeid, aurumist ja filtratsioonikadu. Arvutamisel kasutatakse olukorda, kui aurumine on suur. Sademete keskmine hulk on saadud riigi ilmateenistuse abil.

Summaarne kadu tehisveekogust $\sum K$ leitakse järgmiselt (EVS 924:2015)

$$\sum K = K_E + K_f \text{ (m}^3\text{)} \quad (5.1)$$

Kus:

$K_E \text{ (m}^3\text{)}$ – Aurumiskaadu,

$K_f \text{ (m}^3\text{)}$ – filtratsioonikadu.

Filtratsioonikadu K_f saab arvutada veehoidlast arvutuseelsetes mõttekäikudes järgmise valemiga (EVS 924:2015):

$$K_f = V \cdot \frac{f}{100} \quad (5.2)$$

Kus:

$V \text{ (m}^3\text{)}$ – veehoidla veemaht,

$f \text{ (%)}$ – filtratsioonikao protsent.

Aurumiskadu K_E (m^3) võib arvutada järgmise valemiga (E. Saaremäe):

$$K_E = A \cdot (E - S) \quad (5.3)$$

Kus:

A (m^3) – veepeegli pindala, mis sõltub veehoidla veemahust,

E (mm) – aurumise hulk,

S (mm) – Sademete hulk.

Aurumine veekogu pinnalt leitakse järgmiste valemitega (E. Saaremäe):

$$E_{teg(p=25\%)} = E_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \text{ (mm)} \quad (5.4)$$

Kus:

E_0 (mm) – aurumine standardveekogu pinnalt Eestis,

K_1 - parand, mis arvestab veekogu suurust. Kui veekogu pikkus on alla 10 km (paisu teljest kuni kaugemasse soppi), siis parandi väärtus on 1 ($K_1=1$),

K_2 - parandustegur, mis arvestab veekogu keskmist sügavust. Mida sügavam on veekogu, seda väiksem on aurumine. Vaata tabel 5.1.

Tabel 5.1. Aurumise koefitsiendid K_2 sõltuvalt keskmisest veesügavusest.

Keskmine sügavus (m)	2	5	10	15	20	>25
Aurumise koefitsient K_2	1	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92

K_3 - parandustegur, mis arvestab veehoidla kaitsust tuulte eest. Kui kaitsta veekogu tuule eest, siis võib aurumist vähendada umbes kaks korda. Nt metsajärvest aurub kaks korda vähem, kui lagedal olevast. Tuulekaitse efekt sõltub ka sellest, kui suur on veepeegli pindala. Väikesele paisjärvele avaldab mets rohkem mõju kui suurele.

$H_{kaitse} / L_{tuul} = X$ (vaata tabel 5.2), H_{kaitse} ühik on meeter. L_{tuul} on km.

Tuule koridori pikkus (E. Saaremäe):

$$L_{tuul} = 1,2 \cdot L^{max} \text{ (km)} \quad (5.5)$$

Kus:

L^{max} (km) – veehoidla pikkus.

Tabel 5.2. Aurumise koefitsiendid K_3 sõltuvalt veekogu kaitstusest.

$H_{\text{kaitse}}/L_{\text{tuul}}$	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
K_3	0,96	0,89	0,84	0,80	0,76	0,70	0,64	0,57	0,51

K_4 - parandustegur, mis arvestab veehoidla täiskasvamist.

$$A_{\text{täis}} = A_{\text{kogu}} - A_{\text{kogu}}^{-2,5} (m^2) \quad (5.6)$$

Täiskasvamise protsent (E. Saaremäe):

$$\frac{A_{\text{täis}}}{A_{\text{kogu}}} \cdot 100 = X \% \quad (5.7)$$

Arvutatud protsendi järgi interpoleerimise teel leitakse tabelist 5.3 K_4 väärtus.

Tabel 5.3. Aurumise koefitsiendid K_4 sõltuvalt täiskasvamise protsendist.

Täiskasvamise %	10	30	50	75
Metsane ala	1,03	1,08	1,14	1,22

K_5 - üleminekutegur. E_0 on tabelites antud 50% tõenäosusega, antud olukorras arvestame, et aurumine on suur. Tegur saadakse tabelist 5.4, arvestades, et aurumine on suur ehk $E = 25\%$.

Tabel 5.4. Üleminekutegurid.

E %	1	3	5	10	25	50	75	90	99
Tegur	1,35	1,28	1,25	1,19	1,10	1,00	0,90	0,81	0,65

Magistritöös arvestatakse veehoidla veetaseme hoidmist normaalpaisutus taseme juures (abs. 74,00 meetrit), normaalpaisutus taseme juures on veepegli pindala 68 000 m², maht 230 000 m³ ja keskmine sügavus 2,3 meetrit. Neid andmeid kasutame edasistes veebilansi arvutustes.

Aurumise leidmiseks veekogu pinnalt on vaja teada aurumist standardveekogu pinnalt Eestis, mis saadakse nomogrammilt ja milleks on 575 mm Vedu piirkonnas. Koefitsiendid on välja arvutatud järgmised:

K_1 = 1, kuna veekogu pikkus on 0,76 km ja jääb alla 10 km.

K_2 = 1, keskmine sügavus on veehoidlas 2,3 meetrit.

$K_3 = 0,96$; tuule koridori pikkuseks on 0,91 km, veehoidlat ümbritsevad tervenisti puud, mille käigus on võetud keskmine puude kõrgus 4 meetrit. Koefitsient on võetud 0,96 kuna $H_{kaitse}/L_{tuul} = <0,01$.

$K_4 = 1,06$; koefitsient on saadud interpoleerides arvestades, et kinnikasvamise protsent on 20%.

$K_5 = 1,10$; üleminekutegur minnes üle 50 protsendilt 25-le protsendile.

Rakendades saadud koefitsendid ja standardveekogu aurumise hulk valemisse (5.4) saame tegeliku aurumise kaoks veekogu pinnalt 644 mm.

Sademetes hulgaks võtame 680 mm, mis on ilmateenistuse andmetel Tõravere vaatlusjaamast saadud 1981-2010 aastate keskmine sademete hulk. Teades sademete hulka, aurumiskadu veehoidla pinnalt ja veehoidla veepeegli pindala, saame arvutada välja aurumiskao K_E valemiga (5.3). Aurumiskadu veehoidlast on -2473 m^3 . Kuna tulemus on negatiivse märgiga, siis see tähendab seda, et kadu polnud, vaid nii palju tuleb vett juurde. Põhjuseks on sademete hulk, mis ületab aurumist $S > E$.

Filtratsiooni kao arvutamiseks on vaja teada veehoidla mahtu, milleks on $230\,000 \text{ m}^3$ abs. 74,00 meetri juures. Filtratsioonikao protsendiks on võetud 5%, mis on halb näitaja. Heaks loetakse 0,5-1%. keskmiseks loetakse 1-1,5% ja halvaks, mis on $>$ kui 1,5% (E. Saaremäe). Rakendades saadud tulemused valemisse (5.2) saame vastuseks $11\,500 \text{ m}^3$, see on veekogu hulk, mis kaob läbi põhja.

Filtratsiooni kadu läbi väikese veehoidla saab arvutada ka Kuskovi valemiga (Vesiehitised, H. Liiv):

$$K_f = 2,5 \cdot K \cdot A \cdot h_k \text{ (m}^3 \text{ aastas)} \quad (5.8)$$

Kus:

K – Veehoidla põhjapinnase filtratsioonimoodul

A – Veehoidla pindala (m^2)

h_k – Veehoidla keskmine sügavus (m)

Paisjärv jääb saviliivmoreenpinnasesse, mille filtratsioonimoodul on $0,1 - 0,2 \text{ m/ööp}$. Käesolevas töös kasutame filtratsioonimoodulit $0,1 \text{ m/ööp}$. Kasutades filtratsioonimoodulit $0,1 \text{ m/ööp}$, teades veehoidla pindala, milleks on $68\,000 \text{ m}^2$ ja keskmist sügavust $2,3$ meetrit, siis Kuskovi valemiga (5.8) saame tulemuseks $39\,100 \text{ m}^3$. Võrreldes valemit (5.2) ja (5.8), siis on näha, et erinevuste vahe on üle kolme korra. Kuna me arvestame antud töös halvima olukorraga, siis edasistes arvutustes kasutatakse kuskovi valemiga (5.8) saadud tulemust.

Kuna meil on teada aurumiskadu K_E ja filtratsioonikadu K_f , saame arvutada välja summaarse kao $\sum K$ veekogust valemiga (5.1). Tulemuseks saame $36\,627 \text{ m}^3$ aastas, mis on üllatavalt suur kadu. Kui kasutada valemis (5.2) saadud tulemust valemist (5.1) saame summaarseks kaoks 9027 m^3 aastas, mis on tunduvalt väiksem.

Kadu oleneb väga palju keskmisest sügavusest, antud töös on kasutatud projektis olevat keskmist sügavust, kui aga rakendada valemitesse keskmine sügavus 1 meetri, siis summaarne kadu muutub palju väiksemaks. Kui rakendada keskmine sügavus 3 meetrit valemitesse, siis kadu kasvab. Põhimõtteliselt peaks tekkima balansi olukord, mis tähendab seda, et juurdevool = äravooluga.

Juurdevool ehk sademed toovad veehoidlasse $68\,000 \cdot 0,68 = 46\,240 \text{ m}^3$ vett aastas. Aurumine veehoidlast $68\,000 \cdot 0,644 = 43\,792 \text{ m}^3$ aastas. Filtratsiooni kaona võrdleme kahte erinevat tulemust $39\,100 \text{ m}^3$ ja 9027 m^3 .

Esimese variandi puhul kasutame Kuskovi valemiga saadud tulemust $39\,100 \text{ m}^3$:

$$46\,240 = 43\,792 + 39\,100 \rightarrow 46\,240 = 82\,892$$

Teise variandi puhul kasutame tulemust 9027 m^3 :

$$46\,240 = 43\,792 + 9027 \rightarrow 46\,240 = 52\,819$$

Variant ühe puhul näeme, et kadu veehoidlast oleks $36\,652 \text{ m}^3$ aastas, variant kahe puhul oleks kadu 6579 m^3 aastas. Erinevus on üle viie korra.

Valgala juurdevooluga ei ole arvestatud, kuna see on antud objektile peaaegu olematu, kõigest $0,1 \text{ km}^2$. Valgala on välja toodud kaust II, joonis 1.

Rajatud veehoidla on veepidavuse seisukohalt piisavalt heas seisus, veehoidla pole tühjenenud vaatamata sellele, et seda pole ilmselt viimase 30 aasta jooksul täidetud.

Kuna eesmärgiks on hoida veehoidlas olevat veetaset ette nähtud abs. kõrgusel, milleks on 74,00 meetrit ja arvestades kõige suuremat kadu, siis veehoidla täitmisel tuleb arvestada aasta jooksul ümardatult 37 000 m³ vee kaoga, mis on tingitud filtratsioonikaost ja aurumiskaost.

Koos tehisume tootmiseks vajaliku veega tuleb veehoidlasse pumbata 45 200 m³ vett aastas. Vee saamiseks on otstarbekas kasutada Amme jõe vett. Veehoidla täitmine Amme jõest peab toimuma kevadiste või sügiseste suurvete ajal. Amme jõe äravoolu aastasisene jaotus on välja toodud tabelis 5.5.

Tabel 5.5. Amme jõe äravoolu aastasisene jaotus (Q m³/s)

Tagat. %	Kuukeskmise vooluhulk (m ³ /s)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
75%	0,95	0,43	1,47	9,31	2,51	0,53	0,42	0,34	0,10	1,49	2,82	1,35
95%	0,47	0,19	1,08	6,73	1,58	0,30	0,11	0,093	0,02	0,85	1,60	0,66

Allikas: Kolhoos „Avangard“ Vedu II mp. II ehitusjärg 1.k. – Vihmutusvõrk. 1974.

Amme jõe hüdroloogilised uuringud on tehtud Vedu veehoidla projekti jaoks aastal 1974, ning hetkeseisu andmete põhjal uuemaid uuringuid pole tehtud.

Vedu veehoidla täitmiseks tuleb Amme jõe äärde rajada uus pumbajaam ja olemasolev veetorustik Amme jõe äärest kuni Vedu veehoidlani korrastada.

Kokkuvõte

Talvel pakub suusatamine huvi paljudele talispordi harrastajatele. Lähtel toodetakse sobivate külmakraadidega tehislund, et katta suusarada vajaliku lumega. Vedul asuvale suusarajale pääsevad talispordi harrastajad ainult looduslik lume olemasolul ja rajameistrid on suusaraja ettevalmistanud. Mõistlikum on rajada statsionaarse torustikuga tehislumesüsteem.

Lumekatte vaatlusandmete põhjal saab järeldada, et viimased 5 aastat on olnud väga lumevaesed, keskmine lumikatte paksus kõigest 0,9 - 3,8 cm. Korraliku suusaraja tegemiseks peab olema lund vähemalt 20 cm.

Tehislumi on oma struktuurilt kompaktsem ja tihedam võrreldes loodusliku lumega ning sulab kolm korda aeglasemalt.

Antud töös uuriti Vedu veehoidla olukorda, jälgiti veetaseme muutumist veehoidlas, arvatati veehoidla veebilanss ja uuriti veehoidla põhja setteid. Mõõtmistulemused näitavad, et veetase on veehoidlas meetri võrra madalamal ehk veetase jääb abs. kõrgusele 73,00 meetrit, veemaht vastava taseme juures on $123\,800\text{ m}^3$ ja keskmine sügavus 2 meetrit.

Veehoidla saviliiv ja liivsavi pinnasest põhjal on keskmiselt kuni 50 cm mudakiht. Väike-Vedu veehoidla osas on turba kiht, mis oleks pidanud enne veehoidla veega täitmist olema eemaldatud.

Veehoidla veetaseme mõõtmistulemused perioodil oktoober kuni mai näitavad, et veetase tõusis 14,0 sentimeetrit, sellega veemaht veehoidlas suurenes 9000 m^3 võrra. Veepind hakkas kiiresti alanema mais peale pikemat sademeteta perioodi.

Veehoidla normaalpaisutustase on abs. kõrgusel 74,00 meetrit, sel juhul on veehoidla maht $230\,000\text{ m}^3$ ja keskmine sügavus 2,3 meetrit. Veehoidla uuringu käigus selgus, et Väike-Vedu veehoidla keskmine sügavus on kõigest 1,2 meetrit, mis on liiga madal ja veehoidla kasvab kinni. Kinnikasvamist aitaks pidurdada veetaseme hoidmine vähemalt ette nähtud veetasemel ehk abs. kõrgusel 74,00 meetrit.

Vedu terviserada on 2,2 kilomeetrit pikk, ümbritsetud metsaga ja tasasem võrreldes Lähte radadega. Töös on Vedu terviseraja jaoks projekteeritud tehislumesüsteem, mis saab vajamineva vee Vedu veehoidlast. Veehoidla täitmine toimus Amme jõest, kust võib veehoidla täitmiseks võtta vett sügisel, vajadusel ka talvel ja kevadel.

Koostatud tehislumesüsteemi projektlahenduses arvestatakse kahe olemasoleva technoalpin M18 turbiinkahuriga, lisaks vastavalt raja asukohale ja rajameistri soovitudele valiti välja kaks SNOTEK torukahurit. Summaarne vajaminev vooluhulk on 11,6 l/s ehk 41,8 m³/h. Survetorustikuks valiti Alveniuse spetsiaalsed terastorud, mille montaaž on kergem ja kiirem, võrreldes teiste analoogsete torustikega. Projekteeritud torustikku on kokku 2411 meetrit, kus 800 meetrit on DN80 toru ja 1611 meetrit on DN100 toru. Selleks, et vesi torustikust lumetootmisseadmeteni jõuaks, tuleb raja äärde paigaldada kokku 11 hüdranti. Hüdrandid kasutatakse olemasolevaid Snowstorm voolikuid. Hüdrandid valiti samuti Alveniuse poolt pakutavad, mille surveklass on PN25 ja varustatud automaatse tühjendusklapiga. Torustik projekteeritakse 1,8 meetri sügavusele, külmumispiirist sügavamale, et vältida külmumist, aga arvestatakse madalamates kohtades rajal ka tühjenduskaevudega, et hiljem torustik veest tühjaks lasta. Vesi tuleks torustikust välja lasta, kuna 1,8 meetri sügavusel vee seismisel temperatuur tõuseb, kuid vaja oleks võimalikult külma vett, et õhku piserdatud veepiisad suudaksid võimalikult kiirelt külmuda.

Magistritöös on projekteeritud tehislumesüsteemi veega varustamiseks sukelpumbaga ajutine veehaare, mis võtab veehoidla vett pindmisest veekihist, et lumetootmisseadmeteni jõuaks võimalikult külm vesi. Arvestatakse, et töös on kuni 4 lumetootmisseadet, siis projekteeriti ka uus survetõstepump, sobivamaks osutus Grundfos CR 45-12 50 pump. Olemasolevat Lähte terviseraja survetõstepumpa CR 32-12 A-F-A-E-HQQE saab kasutada, kui töös on korraga 2 seadet neljast, siis suudab see süsteemi vajalikul määral veega varustada. Valitud seadmetega (2 SNOTEK torukahurit) suudetakse terviserada katta lumega 158 tunniga. Kui töötavad kõik 4 lumetootmisseadet (kaks trorukahurit ja kaks olemasolevat turbiinkahurit), siis kaetakse suusarada vajaliku lumega 65 tunniga.

Veebilansi arvutamisel saadud tulemusel on veekadu veehoidlast 37 000 m³. Välja arvutatud lumevajadus koos kadudega suusaraja katmiseks tehislumega üks kord on 5445 m³, mis teeb vajalikuks vee hulgaks 2723 m³. Arvestatakse olukorraga, et aastas tuleb suusarada katta 3

korda, see teeb summaarseks veehulgaks tehislume tootmisel 8200 m³. Veehoidla täitmisel Amme jõe veega tuleb arvestada summaarse veehulgaga 45 200 m³. Veehoidlat tuleks täita kevadel, et suvel oleks veehoidlas vajalik veetase. Veehoidla täitmiseks tuleks Amme jõe äärde rajada uus pumpla ja korrastada olemasolev torustik Amme jõest Vedu veehoidlani.

Kasutatud kirjandus

1. Maa-ameti kaardirakendus X-GIS. [<http://xgis.maaamet.ee/>] (15.03.2017)
2. Tooming, H, Kadaja, J. 2006. Eesti lumikatte teatmik. Tallinn - Saku. 504 lk.
3. Maastik, jt. 1995. Hüdraulika ja Pumbad. Tartu - Greif. 467 lk.
4. Veeteatmik. Eesti Keskkonnaministeeriumi Veeameti tellimusel tehtud lepingutöö. 1992. Tartu: EPMÜ, Veemajanduse kateeder. (06.05.18)
5. MHL-Sport koduleht. Torukahurite kataloog [<http://mhl.ee/demaclenko-torukahurid/>] (25.04.17)
6. SMI (Snow Machines Inc). Snowmaking basics. [<http://www.snowmakers.com/snowmaking-basic.html>] (04.05.17)
7. Eesti maaparandusprojekt. kolh. "Avangard" Vedu II maaparanduse tehniline projekt. II ehitusjärg 2.kõide -Veehoidla ja pumplad. Tallinn 1974. (28.12.2017)
8. SMI (Snow Machines Inc). kodulehekülg -> SNOW EQUIPMENT. [<http://www.snowmakers.com/>] (4.05.17)
9. Keskkonnaministeerium. 2008. Vooluveekogu paisutamiseks nõutava vee erikasutusloa koostamise juhend. Tallinn. 46 lk. (13.03.2018)
10. Grundfos kodulehekülg. Mõõtmestamine: [<https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?qcid=322556725>] (30.04.17)
11. Ofner, A; Pauly, C, P. 2006. Pumps and valves for snow generation. <http://www.ksb.com.br/adm/download/download.php?vartemp=047104111109101047107115098099111109098114047100097100111115047117112108111097100047112100102112114111100117116111115047097114116105103111115047&arquivo=TechnoDigest12w.pdf>
12. Vagle, B, H. 2016. Utilization of surplus heat from snow producing machines. [<https://daim.idi.ntnu.no/masteroppgaver/015/15809/masteroppgave.pdf>] (29.01.17)
13. E. Saaremäe. 2013. Õppeaine „Tiigid ja Paisjärved“. (20.03.18)
14. Robi, J. 2017. (Lähte ja Vedu terviseraja hooldaja). Autori intervjuu. Üleskirjutis. Lähte, 5. mai 2017.
15. Ernits, N. 2018. (SA Tehvandi Spordikeskuse haldus- ja ehitusjuht). Autori intervjuu. Üleskirjutis. Tartu, 26. märts. 2018
16. W. A. Bentley. 1902. Studies among the snow crystals during the winter of 1901-2, with additional data collected during previous winters. Jericho. [https://siarchives.si.edu/sites/default/files/pdfs/WAB_Snow_1902.pdf] (3.05.17)
17. Riigi ilmateenistus kodulehekülg. [<http://www.ilmateenistus.ee/>] (2.03.17)

18. Alvenius kodulehekül. Snow making: [<http://www.alvenius.com/business-areas/snowmaking.aspx>](7.05.17)
19. Eesti maaparandusprojekt. Kolh. „Avangard“ Vedu II maaparanduse tehniline projekt. II ehitusjärg. 1.Köide – Vihmutusvõrk. Tallinn. 1974.
20. Eesti maaparandusprojekt. Kolhoos „Avangard“ Vedu II maaparanduse tehniline projekt. II ehitusjärg. 2.Köide – Vihmutusvõrk. Tallinn. 1974.
21. Keskkonnainfo. Vedu veehoidla.
[http://loodus.keskkonnainfo.ee/eelis/default.aspx?state=4;68547596;est;eelisand;:&comp=obj&result=veekogu&obj_id=1192666113] (14.03.17)
22. Eesti maaparandusprojekt. Tartu rajooni kolh. „Avangard“ Vedu II vihmutus. Geoloogiline aruanne. Tallinn. 1974. (01.11.18)
23. Eccua OÜ kodulehekül. Hüdrandid: [<http://eccua.ee/tooted/hudrandid/>] (10.04.17)
24. Roger`s Hydrants: [<http://www.rogershydrants.com/hydrants.html>] (10.04.18)
25. Ratnik Industries The Snowmaking Experts. Hüdrandid: [<http://ratnik.com/category/hydrants/>] (10.04.18)
26. SUFAG torukahurite tootekataloog: [http://www.sufag.com/en/gamme_products/gamme-perches-en/] (22.04.17)
27. Maa-amet, Euroopa kõrgussüsteem:
[<https://www.maaamet.ee/et/eesmargid-tegevused/geodeesia/euroopa-korgussusteem/>] (03.05.18)
28. Maa-amet. Kõrguste ülemineku kalkulaator:
[<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Teenused/Geodeesia-kalkulaatorid-p142.html>] (03.05.18)
29. V. Tamm. 1999. Vesiehitised – üldkursus. Tartu – Eesti Põllumajandusülikool. 86 lk. (02.05.18)
30. V. Kala, G. Kotsulim. 2010. Vesiehitised – Ehitusuuringute alused. Tallinn – Tallinna Tehnikaülikool. 279 lk. (03.05.18)
31. Maa-amet. Kordinaatide kalkulaator: [<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Teenused/Geodeesia-kalkulaatorid-p142.html>] (28.03.18)
32. L. Paal, H. Mölder, H. Tibar. 1981. Veevarustus ja kanalisatsioon. Tallinn.
33. Eesti standard EVS 924. 2015. Vesiehitised sisevetel – Põhialused.
34. J. Karu. 2016. Veevõrk. Tallinn – Tallinna Tehnikaülikool.

LISAD

Lisa 1. Uuringupunktide mõõtmistulemuste tabel

Punkt	Muda	Põhi	Märkused	Punkt	Muda	Põhi	Märkused
1	2,9	3,2	pandud hall savi	43	0,6	1,0	Hall raske ls
2	4,7	5,0	pandud hall savi	44	0,5	1,0	hall raske liivsavi
3	4,3	5,0	pandud hall savi	45	0,4	0,9	hall raske liivsavi
4	1,5	1,9	pruun ls	46	0,3	0,5	hall raske liivsavi
5	2,9	2,9	pandud hall savi	47	0,3	0,6	hall raske liivsavi
6	4,9	5,3	pandud hall savi	48	0,3	0,9	hall raske liivsavi
7	4,9	5,1	pruun ls				
8	4,3	4,4	pruun ls				
9	3,8	4,0	10cm muda, sl				
10	4,1	4,3	saviliiv				
11	3,6	4,1	pruunikas raske ls				
12	2,1	2,3	pruunikas raske ls				
13	1,3	1,6	pruunikas raske ls				
14	1,7	2,2	raske ls				
15	3,0	3,5	raske ls				
16	2,1	2,7	raske ls				
17	1,8	2,3	raske ls				
18	1,5	1,9	raske ls (savikam)				
19	2,9	3,1	muda puudub				
20	2,2	2,4	muda puudub				
21	1,2	1,5	raske ls (savikam)				
22	2,8	3,0	raske ls				
23	2,0	2,2	raske ls				
24	1,0	2,0	raske ls				
25	1,0	2,9	hall sl				
26	0,9	1,6	hall sl				
27	2,2	2,8	Hall sl, (liivasem)				
28	2,7	3,2	Hall sl, (liivasem)				
29	1,1	1,4	10cm muda, kivine				
30	1,5	1,6	ls, kivid (15mm)				
31	1,2	3,0	raske ls				
32	2,5	2,7	raske ls				
33	0,9	1,1	raske ls				
34	1,2	1,4	Hall sl, (liivasem)				
35	1,2	2,23 (5,6)	turvas				
36	1,3	2,06 (6,3)	turvas				
37	1,5	1,85 (3,6)	turvas				
38	1,2	1,53 (2,45)	turvas				
39	1,0	3,5	turvas				
40	0,9	1,6	Hall raske ls				
41	1,0	1,4	Hall raske ls				
42	0,7	1,5	põhi kivine, ls				
43	0,6	1,0	Hall raske ls				

Lisa 2. Sukelpumba ja survetõstepumba parameetrid

Lisa 2.1. Sukelpumba parameetrid

Lisa 2.2. Survetõstepumba parameetrid

Lisa 2.3. Olemasoleva survetõstepumba parameetrid

Lisa 3. Vajalikud materjalid

Materjali nimetus	Kogus	Ühik
Alvenius kõrgsurvetoru DN80,PN 40	800	jm.
Alvenius kõrgsurvetoru DN100,PN 40	1611	jm.
Alvenius kolmik DN100 hüdrandi väljavõttega DN80	7	tk.
Alvenius kolmik DN80 hüdrandi väljavõttega DN80	4	tk.
Alveniuse hüdrandid DN80	11	tk.
Alvenius toru põlv 45° DN80	2	tk.
Alvenius toru põlv 90° DN100	1	tk.
Alvenius toru põlv 22,5° DN100	1	tk.
Alvenius toru põlv 15° DN100	5	tk.
Alvenius toru põlv 11,25° DN100	4	tk.
Alvenius toru põlv 7,5° DN100	4	tk.
Alvenius toru kolmik 45° DN100	6	tk.
Alvenius toru üleminek DN100/DN80	2	tk.
Sukelpump Q=11,6 l/s; H=10 m	1	kpl.
Survetõstepump Q=11,6 l/s; H=246,7 m	1	kpl.
Technoalpin lumekahur M18	2	kpl.
SUFAG torukahur SNOTEK	2	kpl.
Tühjenduskaev	5	kpl.
SNOWSTORM voolik DN65	330	jm.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Risto Lang,
(sünnipäev pp/kuu/aa 27.11.1990)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Vedu veehoidla kasutusvõimaluste uurimine tehislume jaoks,

mille juhendaja on Priit Tamm,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 17.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)